



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STAVEBNÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

**ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ**

INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

**DIAGNOSTIKA A NÁVRH ELIMINACE TEPELNÝCH  
MOSTŮ BUDOV**

DIAGNOSTICS AND PROPOSAL TO ELIMINATE THERMAL BRIDGES BUILDINGS

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Bc. David Bravenec

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

doc. Ing. MILOŠ KALOUSEK, Ph.D.

**BRNO 2017**



## VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM	N3607 Stavební inženýrství
TYP STUDIJNÍHO PROGRAMU	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
STUDIJNÍ OBOR	3608T001 Pozemní stavby
PRACOVNÍŠTĚ	Ústav pozemního stavitelství

### ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

DIPLOMANT	Bc. David Bravenec
NÁZEV	Diagnostika a návrh eliminace tepelných mostů budov
VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE	doc. Ing. Miloš Kalousek, Ph.D.
DATUM ZADÁNÍ	31. 3. 2016
DATUM ODEVZDÁNÍ	13. 1. 2017

V Brně dne 31. 3. 2016

  
prof. Ing. Miloslav Novotný, CSc.  
Vedoucí ústavu



  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

### PODKLADY A LITERATURA

(1) Směrnice děkana č. 19/2011 s dodatkem a přílohami; (2) Katalogy a odborná literatura; (3) Stavební zákon č. 183/2006 Sb. ve znění zákona č. 350/2012 Sb.; (4) Vyhláška č. 499/2006 Sb. ve znění vyhlášky č. 62/2013 Sb.; (5) Vyhláška č. 268/2009 Sb.; (6) Vyhláška č. 398/2009 Sb.; (7) Platné normy ČSN, EN.

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ (ZADÁNÍ, CÍLE PRÁCE, POŽADOVANÉ VÝSTUPY)

### ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ (ZADÁNÍ, CÍLE PRÁCE, POŽADOVANÉ VÝSTUPY)

**Zadání:** Zpracování teoretické práce Diagnostika a návrh eliminace tepelných mostů budov. Na základě vybraných tepelně technických problémů stavebních objektů z praxe, které budou měřeny, analyzovány a budou navrženy úpravy konstrukcí tak, aby vyhovovaly tehdejší i současným požadavkům ČSN. **Cíle:** Výstupem bude teoretická práce. VŠKP bude mít strukturu dle manuálu umístěného na [www.fce.vutbr.cz/PST/Studium](http://www.fce.vutbr.cz/PST/Studium).

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

### VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



doc. Ing. Miloš Kalousek, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

## ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá porovnáním stavebních materiálů pro svislé nosné konstrukce staveb, tepelně izolačními materiály a vzájemnými kombinacemi konstrukčních materiálů a izolantů. Dále jsou zde uvedeny možnosti řešení zateplení nejčastějších tepelných mostů konstrukcí, a to překladu a soklu. V práci jsou zhodnoceny klady a zápory různých kombinací stavebních materiálů. Pro výpočty byly využity programy Teplo a Area.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Svislá konstrukce, stavební materiály, tepelná izolace, tepelný odpor, prostup tepla, tepelný most, vlhkost, kondenzace.

## ABSTRACT

This thesis presents a comparison of building materials for vertical bearing structures of buildings, thermal insulation materials and mutual combination of structural materials and insulators. Furthermore, there are possibilities for solving the most common insulation thermal bridges construction. The paper evaluated the pros and cons of different combinations of building materials. Teplo and Area programs were used for the calculations.

## KEYWORDS

Vertical construction, building materials, thermal insulation, thermal resistance, heat transfer, thermal bridge, humidity, condensation.

#### BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. David Bravenec *Diagnostika a návrh eliminace tepelných mostů budov*.  
Brno, 2017. 100 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta  
stavební, Ústav pozemního stavitelství. Vedoucí práce doc. Ing. Miloš  
Kalousek, Ph.D.

### PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 13. 1. 2017

---

Bc. David Bravenec

autor práce

## PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

### PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 13. 1. 2017

---

Bc. David Bravenec

autor práce

## PODĚKOVÁNÍ

Velké poděkování patří vedoucímu mé diplomové práce, panu doc. Ing. Miloši Kalouskovi, Ph. D. za odborné rady a názory, které mi pomohly při tvorbě této práce, ale také mi přinesly mnoho dalších užitečných informací. Také bych rád poděkoval svým kamarádům a rodině, ať už za rady technického směru, tak i morální podporu.

V Brně dne 13. 1. 2017

---

Bc. David Bravenec

autor práce



# Obsah

1.	Úvod .....	11
2.	Vytyčení cílů práce a předpokládané výstupy.....	12
3.	Literární část .....	13
3.1.	Veličiny, vztahy, jednotky.....	13
3.1.1.	Základní.....	13
3.1.2	Tepelně technické .....	13
3.1.3	Vlhkostní .....	16
3.2	Historie .....	18
3.2.1	Stručný vývoj zdiva.....	18
3.2.2	Vznik a změny požadavků a norem.....	19
3.3	Typy zdiva .....	21
3.3.1	Jednovrstvé zdivo.....	21
3.3.2	Vícevrstvé zdivo.....	26
3.4	Tepelné mosty.....	32
3.5	Tepelně izolační materiály.....	35
4.	Grafická část .....	39
4.1	Okrajové podmínky .....	39
4.2	Referenční konstrukce.....	41
4.3	Překlady .....	41
4.3.1	Bez dodatečného zateplení.....	41
4.3.2	S dodatečným zateplením .....	50
4.4	Sokl .....	73
4.4.1	Bez dodatečného zateplení.....	73
4.4.2	S dodatečným zateplením .....	73
5.	Závěr.....	94
6.	Seznam použité literatury .....	99

7. Seznam obrázků ..... **Chyba! Záložka není definována.**

## **1. Úvod**

Tématem mé diplomové práce je eliminace tepelných mostů v konstrukcích. Toto téma jsem si zvolil, jelikož si myslím, že je velmi aktuální především z důvodů ekonomického a ochrany životního prostředí. Zaměřím se především na nejčastěji se vyskytující tepelné mosty ve svislých obvodových konstrukcích, a to překlad a sokl. Porovnáám možnosti použití různých konstrukčních systémů a zateplovacích materiálů.

V literární části se podívám na historii stavitelství, vznik a vývoj norem, různé typy stavebních materiálů a tepelných izolací. Podívám se také na často se vyskytující tepelné mosty u stavebních objektů.

V grafické části pak ukážu porovnání tepelně izolačních a vlhkostních vlastností konstrukčních materiálů a jejich kombinace s izolanty.

V závěru shrnu a vyhodnotím vlastnosti různých možností zateplení.

## **2. Vytyčení cílů práce a předpokládané výstupy**

Cílem této diplomové práce je porovnání parametrů různých typů zdiva a izolačních materiálů, jejich možné kombinace a využití v praxi pro dosažení optimálních požadavků na svislé obvodové konstrukce. Především však použití různých typů izolantů na nejčastější tepelné mosty, jakými jsou sokly domů a překlady.

### 3. Literární část

V této části práce se zaměřím na základní vysvětlení problematiky, potřebné veličiny a jejich význam, okrajově se podívám do historie vývoje zdiva a tepelně technických norem. Dále budou následovat různé stavební materiály a jejich vlastnosti, nejčastěji se vyskytující tepelné mosty v konstrukcích a tepelně izolační materiály.

#### 3.1. Veličiny, vztahy, jednotky

V této kapitole je vysvětleno, jaké veličiny jsou v dané problematice důležité, vztahy mezi nimi a jejich jednotky. Nejprve základní jednotky, jež všichni znají už ze základní školy, nicméně které mají, co dočinění s veličinami tepelně technickými a vlhkostními, které jsou uvedeny a popsány dále.

##### 3.1.1. Základní

V této kapitole je vysvětleno, jaké veličiny jsou v dané problematice důležité, vztahy mezi nimi a jejich jednotky.

Pro porozumění jednotkám, které se blíže týkají naší problematiky, je třeba znát tyto základní veličiny a jejich jednotky:

<b>d</b>	<b>[m]</b>	délka, tloušťka materiálu,
<b>S</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	plocha konstrukce, převážně vztažná plocha o obsahu 1 m <sup>2</sup> ,
<b>Θ</b>	<b>[K]</b>	teplota,
<b>P</b>	<b>[W]</b>	výkon, v našem případě většinou množství tepelné energie unikající za jednu sekundu [J·s <sup>-1</sup> ].

##### 3.1.2 Tepelně technické

Nejprve se zaměřím na veličiny, kterých se týkají prostupy tepla konstrukcí:

###### 3.2.1.1 Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ [W·m<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>].

Tato veličina je definována jako schopnost izotropního materiálu při dané střední teplotě vést teplo. V dnešní době se jedná o jeden z velmi důležitých aspektů pro výběr nejen typu izolantu, ale také samotného materiálu, ze

kterého bude sestavena nosná část konstrukce. U součinitele tepelné vodivosti se můžeme setkat s rozličnými indexy. Deklarovaná hodnota  $\lambda_D$  je výrobcem stanovená hodnota dosažená za laboratorních podmínek. S charakteristickou hodnotou  $\lambda_k$  se běžně nesetkáváme z důvodu, že ji výrobce materiálu nemá na našem trhu povinnost uvádět. Jedná se o hodnotu odvozenou pro charakteristickou hodnotu vlhkosti ( $u_{23/80}$ ). Návrhové hodnoty  $\lambda_u$  jsou odvozeny pro určené tepelné a vlhkostní podmínky, které odpovídají nejnepríznivějšímu zabudování do konstrukce. Jsou uvedeny v tabulkách v normě ČSN 73 0540-3. Naměřená hodnota  $\lambda_m$  je statisticky vyhodnocená z měření dostatečného počtu vzorků. Závisí na podmínkách při měření a vlhkostním stavu vzorku.

### **3.2.1.2 Tepelný odpor R [ $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ].**

Tepelný odpor materiálu nebo konstrukce nám říká, jakou plochou a za jakého rozdílu teplot dojde k přenosu 1 wattu mezi protilehlými povrchy. Jedná-li se o stavební konstrukci o konstantním složení materiálů (stejná tloušťka zdiva, množství a typ tepelné izolace, omítky), vrstvou prochází rovnoměrný tepelný tok. V takovém případě je hodnota tepelného odporu dána vztahem:

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

Kde

$d$  ... tloušťka dané vrstvy [m],

$\lambda$  ... součinitel tepelné vodivosti [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ].

Za předpokladu, že je v konstrukci více materiálů, je celková hodnota odporu součtem dílčích tepelných odporů vrstev, z nichž je konstrukce složena:

$$R = \sum R_j$$

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j}$$

Kde

$R_j$  ... odpor j-té vrstvy [ $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ],

$d_j$  ... tloušťka j-té vrstvy [m],

$\lambda_j$  ... součinitel tepelné vodivosti j-té vrstvy [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ].

Setkáváme se také s odporem při přestupu tepla. Jedná se o odpor, který prostupujícímu teplu klade rozhraní stavební konstrukce a mezní vrstvy vzduchu. Rozeznáváme odpor při přestupu tepla na vnitřní straně  $R_{si}$  a na venkovní straně  $R_{se}$ . Na vnější straně konstrukce je hodnota odporu  $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ , na straně interiéru závisí na směru přestupu. Hodnota  $R_{si}$  pro tok tepla vzhůru je 0,10, vodorovně 0,13 a dolů 0,17  $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ .

Celkový odpor konstrukce, kde dochází k přenosu tepla mezi prostředními oddělenými danou stavební konstrukcí s přilehlými vzduchovými vrstvami je tedy:

$$R_T = R_{si} + R + R_{se}$$

### **3.2.1.3 Součinitel prostupu tepla $U$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ].**

Součinitel prostupu tepla nám říká, jaké množství tepelné energie projde za sekundu konstrukcí o ploše  $1 \text{ m}^2$  při teplotním rozdílu na opačných stranách konstrukce  $1 \text{ K}$ . Jedná se o obrácenou hodnotu tepelného odporu konstrukce:

$$U = \frac{1}{R_T}$$

Kde

$R_T$  ... odpor při prostupu tepla z prostředí do prostředí.

Jelikož součinitel prostupu tepla  $U$  a odpor při prostupu tepla  $R_T$  vyjadřují prostupy tepla celou konstrukcí, musí být zahrnut vliv zdrojů navýšení tepelných toků v konstrukci.

Pokud se v konstrukci nacházejí systematické tepelné mosty z jiných než kovových materiálů, je možné použít zjednodušený výpočet součinitele prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946. Jsou-li mezi vodivostmi materiálů významnější rozdíly, je zapotřebí použít podrobný numerický výpočet vícerozměrného teplotního pole.

### **3.2.1.4 Lineární činitel prostupu tepla $\psi$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ].**

Lineární činitel prostupu tepla vyjadřuje množství tepla ve wattech, které prochází lineárním tepelným mostem o délce  $1 \text{ m}$  při rozdílu teplot  $1 \text{ K}$ . Jde vlastně o obdobu součinitele prostupu tepla u plošných konstrukcí.

### 3.2.1.5 Bodový činitel prostupu tepla $\chi$ [W·K<sup>-1</sup>].

Bodový činitel prostupu tepla se používá pro vyjádření efektu bodových tepelných mostů.

### 3.1.3 Vlhkostní

#### Teplotní faktor vnitřního povrchu $f_{Rsi}$ [-].

Jedná se o bezrozměrnou hodnotu, která nám udává poměrnou teplotu vnitřního povrchu:

$$f_{Rsi} = 1 - \frac{\theta_{ai} - \theta_{si}}{\theta_{ai} - \theta_e}$$

Kde

$\theta_{ai}$  ... vnitřní návrhová teplota,

$\theta_{si}$  ... vnitřní povrchová teplota,

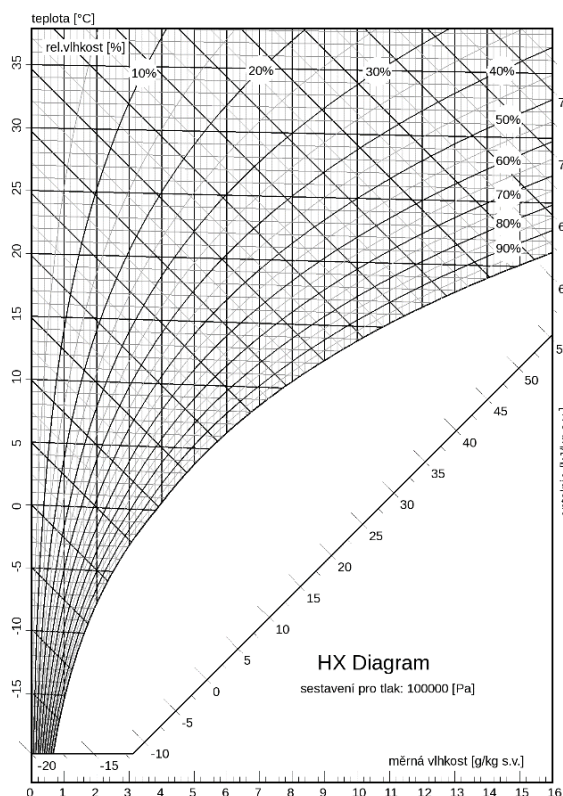
$\theta_e$  ... vnější teplota.

### 3.2.1.6 Absolutní vlhkost a [g/kg]

Absolutní vlhkost udává hmotnost vodní páry v 1 kg vzduchu. Při změně teploty vzduchu zůstává hodnota absolutní vlhkosti neměnná.

### 3.2.1.7 Relativní vlhkost $\varphi$ [%]

Hodnota relativní vlhkosti udává procentuální zastoupení vodní páry ve vzduchu. Relativní vlhkost je závislá na teplotě vzduchu. S rostoucí teplotou vzduchu klesá procento relativní vlhkosti při zachování stejné hmotnosti vodní páry.



Obrázek 1: Mollierův diagram



### **3.2.1.8 Rosný bod [ $^{\circ}\text{C}$ ]**

Teplota, při níž je vzduch nasycen vodními parami (relativní vlhkost dosahuje 100 %), se nazývá rosný bod. Nejedná se o konstantní hodnotu, nýbrž záleží na množství vodní páry ve vzduchu. Jde o teplotu, při níž začne vodní pára kondenzovat.

### **3.2.1.9 Faktor difúzního odporu $\mu$ [–]**

Faktor difúzního odporu udává poměr, kolikrát hůř daný materiál propouští vodní páru než stejně velká vrstva vzduchu. Vzduch proto dosahuje hodnoty 1. Izolanty proti vodě a vlhkosti (hydroizolace a parozábrany) z asfaltu nebo plastů dosahují hodnot v řádech desítek tisíc. Pokud do asfaltu přidáme například hliníkovou vložku, šplhá hodnota až do statisíců.

## **3.2 Historie**

Tato kapitola zahrnuje stručný vývoj materiálů a konstrukčních prvků pro obvodové zdivo. Následuje zavedení požadavků a norem a jejich změny v průběhu času.

### **3.2.1 Stručný vývoj zdiva**

Již pravěcí neandrtálci žili před 50 tisíci lety v oválných chýších z mamutích a sobích kostí. Po nich přišly stanové osady a na Sibiři zemljanky s otevřenými stropy.

I přes to bychom za první opravdové stavitele mohli označit neolitického člověka, který začíná stavět domy a vesnice ze dřeva a hlíny.

Hlavními stavebními materiály starověku na území Mezopotámie byly hlína, rákos a asphalt. Využíval se také kámen a dřevo. Tyto materiály však musely být pro svůj nedostatek dováženy.

Za dob starověkého Egypta a antického Řecka se stále využívají především opracované kameny a hlína, ve větším se používají cihly pálené i nepálené. V antickém Římě se používá i zdivo lité. Tuto směs malty a kamenné drti můžeme považovat za předchůdce dnešního betonu.

Jak čas plynul, měnily se stavební styly, stavby často rostly do výšky, začaly se používat kovové prvky, především pro spojování kamenů, do oken se dostalo sklo, zdi se začaly omítat a obkládat.

Jako my nazýváme období před tisíci a tisíci lety termíny jako „doba kamenná“ nebo „doba bronzová“, možná bude naše současnost do historie zapsána jako „doba plastová“. Tyto materiály jsou dnes velice rozšířené jak v běžném životě, tak ve stavebnictví. Používají se jako všeliké přísady, příměsi, máme plastová okna, zateplujeme polystyrenem.

K zásadní revoluci ve stavebnictví nedošlo. To ale neznamená, že se dnešní stavby od dřívějších neliší. Díky postupnému vývoji materiálů, vylepšováním jejich vlastností a moderním technologiím dokážeme v současnosti stavět domy ekonomičtěji a ekologičtěji. V objektech je příjemné, hygienicky nezávadné klima.

### 3.2.2 Vznik a změny požadavků a norem

Zde se podívám na hodnoty norem současných i minulých, jež se primárně týkají tepelných požadavků na konstrukce.

Před vznikem první tepelně technické normy byl nejčastěji využíván termín „cihelný ekvivalent“. Šlo o tepelný odpor cihelné zdi o tloušťce 450 mm.

V roce 1949 se na našem území uvádí v platnost první tepelně technická norma ČSN 1450: 1949 *Výpočet tepelných ztrát budov při navrhování ústředního vytápění*. Prosazení normy však muselo projít dlouhou fází a přesvědčování o nutnosti zabezpečení tepelné ochrany budov.

Od roku 1955 platila závazně norma ČSN 73 0020:1958 *Obytné budovy*. Ta sloužila ke zpřesnění tepelně technických požadavků.

Začátkem roku 1963 vešla v platnost první samotná tepelně technická norma. Konkrétně se jednalo o ČSN 73 0540: 1962 *Navrhování stavebních konstrukcí z hlediska tepelné techniky*. Požadavek na tepelný odpor byl stanoven ze způsobu vytápění a tepelné akumulace konstrukce.

Revize této normy ČSN 73 0540: 1964 *Navrhování stavebních konstrukcí z hlediska tepelné techniky* přišla především s přesnějším hodnocením časově proměnných fyzikálních dějů.

Po třinácti letech došlo k poměrně razantnímu zpřísnění požadavků v nové normě ČSN 73 0542: 1977 *Tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí a budov – Názvosloví. Požadavky a kritéria*.

Roku 1992 vstoupila v platnost změna č. 4, kdy byla požadovaná hodnota tepelného odporu zvýšena na  $2 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ .

Dále přišla ČSN 73 0540: 1994 *Tepelná ochrana budov*. Ta zahrnovala další revize.

Další velké změny jsme se dočkali v roce 2002, kdy došlo nejen k zpřísnění požadavků, ale začíná se také hodnotit měrná potřeba tepla na vytápění. Jedná se o revizi ČSN 73 0540: 2002 *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky*.

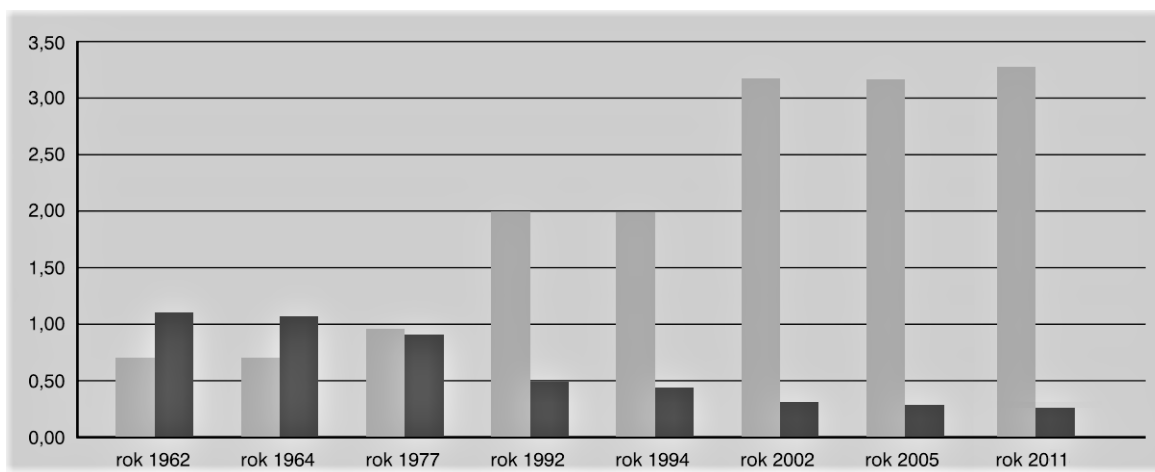
Roku 2005 přinesla změna normy některé nové veličiny, především průměrný součinitel prostupu tepla pro hodnocení stupně energetické náročnosti.

V roce 2007 pak přichází hodnocení formou energetického štítku obálky budovy. Ke změně požadavků však nedošlo.

Ke zpřísnění dochází až v aktuálně poslední novele normy ČSN 73 0540: 2011 *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky*. Především v části pojednávající o minimální povrchové teplotě.

Původní normy uváděly minimální požadovaný tepelný odpor konstrukce, dnešní udávají maximální přípustný součinitel prostupu tepla pro jednotlivé typy konstrukcí.

Na následujícím grafu je znázorněn vývoj požadovaných hodnot tepelného odporu (světlý sloupec) a součinitele prostupu tepla (tmavý sloupec) pro obvodovou stěnu.



Obrázek 2: Graf vývoje tepelných požadavků

### **3.3 Typy zdiva**

V této části se podrobněji zaměřím na nejčastěji využívané materiály pro výstavbu v dnešní době. Porovnáám jednovrstvé a vícevrstvé zdivo, typy zateplení a kotvení izolačních materiálů.

#### **3.3.1 Jednovrstvé zdivo**

Pojem jednovrstvé zdivo označuje obvodovou stěnu bez dodatečného zateplení kontaktním zateplovacím systémem. O dostatečný tepelný odpor se stará samotný materiál, z něhož je konstrukce vyhotovena. Případně může dojít na straně exteriéru k použití tepelně izolační omítky v několikacentimetrové vrstvě.

Tento typ zdění se dnes používá poměrně zřídka. Díky stále se zpřísnujícím normám dochází k vyšším a vyšším požadavkům na energetickou náročnost bydlení a úsporu energie. I proto dnes z cihel plných pálených můžeme postavit nanejvýš okrasnou zídku kolem pozemku. Přestože právě cihelná zeď tloušťky 450 mm stála u zrodu prvních požadavků na ochranu tepla, v dnešní době takovou obvodovou stěnu již stavět nelze.

Jelikož se však materiály neustále vyvíjí a výrobci pracují na zlepšování jejich vlastností a zefektivnění výroby, je i v dnešní době možno postavit dům s obvodovou stěnou z jedné vrstvy. A to dokonce v menší tloušťce, než oněch zmíněných 450 mm, požadavky dnešních norem budou i přesto splněny.

Na výběr je hned z několika možností. V následujících několika odstavcích se blíže podívám na některé z nich.

### 3.3.1.1 Keramické tvarovky

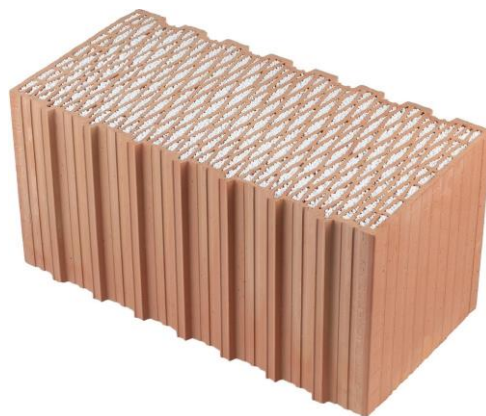
Mezi nejznámější výrobce keramického zdiva dnes patří formy Porotherm a Heluz. Jelikož keramický střepek sám o sobě nejspíš nikdy nedosáhne takových parametrů, aby splňoval tepelně technické požadavky dnešní doby, doplnili výrobci samotnou tvárnici o izolační materiál, kterým vyplnili dutiny uvnitř tvarovek. Dutiny tvarovek od firmy Porotherm jsou vyplněny minerální vlnou, ty od Heluzu obsahují expandovaný polystyren. Tyto tvárnice jako jediné z keramických výrobků dnes splňují přísné tepelně izolační požadavky.

Jejich nespornou výhodou je urychlení stavebního procesu bez nutnosti dodatečného zateplení. Postavím stěnu, omítnu, hotovo. Výstavba se se tímto velice zjednoduší. Nenastane také situace, kdy se při dodatečném zateplení mohou ponechat vzduchové bubliny.

Na druhou stranu musí dojít k použití předepsaných pojících hmot a výstavba musí být velice přesná. Díky většímu děrování také tvarovka ztrácí na pevnosti, oproti klasické o stejných rozměrech. Dále se mohou vyskytnout problémy s tepelnými mosty u oken, dveří, překladů, stropů a jinde. Dále dochází k promrzání zdiva, nejen tepelné izolace. S tím jde ruku v ruce i kondenzace vlhkosti uvnitř konstrukce. Ke značnému zhoršení tepelně izolačních parametrů dochází také při zásahu do obvodového zdiva z důvodu vedení instalací.



Obrázek 3: Keramická tvarovka s výplní z minerální vlny



Obrázek 4: Keramická tvarovka s výplní z expandovaného polystyrenu

### 3.3.1.2 Pórobetonové tvarovky

Když se řekne pórobeton, většině lidí se vybaví bílé tvarovky, které se na stavbu přivezly na paletě ve žlutém igelitu. Firma Ytong však není jediným výrobcem pórobetonových tvárnic, samotné dílce dokonce nemusí mít ani onu bílou barvu. Bílá barva je dána použitím křemičitého písku. Ten však může být nahrazen elektrárenským popílkem, díky čemuž mají tvarovky barvu šedou. Stavební dílce se vyrábí ve více pevnostních variantách. S rostoucí pevností se však zvyšuje i hmotnost a tepelná vodivost tvarovek.

Normou doporučené požadavky součinitele prostupu tepla splňují tvarovky již s tloušťkou menší než 400 mm. Jsou oproti cihelným (keramickým) blokům lehčí a snáze opracovatelné.

Pro jednovrstvé konstrukce z pórobetonu se však objevují tytéž neduhy, jako u jednovrstvého keramického zdiva, a to především promrzání konstrukce, větší kondenzace vodní páry uvnitř zdí, obtížně řešitelné úniky tepla v kritických detailech a velký vliv na tepelné vlastnosti při narušení stěn drážkami.



Obrázek 5: Pórobetonová tvarovka vyrobená z křemičitého písku



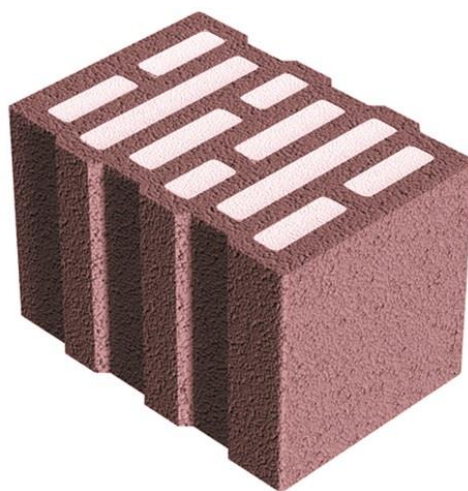
Obrázek 6: Pórobetonová tvarovka vyrobená z elektrárenského popílku

### 3.3.1.3 Keramzitbetonové tvarovky

Když zazní slovo Liapor, mnozí si představí falešné kamenné kuličky, nebo zahradní prvky. Ne všichni ale vědí, že S obdobným řešením jako výrobci keramických stavebních systémů přišel i Liapor.

Tvarovky typu SL jsou vyrobené z lehčeného betonu a vyplněné expandovaným polystyrenem. To zajišťuje oproti běžnému betonu daleko lehčí konstrukci, která navíc splňuje normou doporučené hodnoty na prostup tepla. Tvarovky zajišťují také poměrně dobrou akumulaci tepla.

Nicméně slabiny opět obdobné, jako u předešlých jednovrstvých konstrukcí. Výrazné snížení tepelně izolačních vlastností zásahem do zdiva, promrzání nejen izolantu, ale i samotné betonové části tvárnice a opět nelehké řešení úniků tepla v kritických detailech konstrukce.



*Obrázek 7: Keramzitbetonová tvarovka s polystyrenovou výplní*



#### 3.3.1.4 Beton (Železobeton)

Tento materiál je díky své pevnosti často používán jako konstrukční systém vyšších budov, ať monolitických, tak montovaných, u rozměrnějších konstrukcí, jakými jsou často dopravní stavby. U menších objektů, jakými jsou rodinné domy, je pro použití do jednovrstvých obvodových stěn naprosto nevyhovující.

Železobetonových prvků se v běžném domě najde mnoho. Ať již se jedná o základové pasy, vyztužené základové desky, stropní konstrukce, průvlaky, části překladů, věnce, nebo balkóny. Ze svislých konstrukcí se může jednat pravděpodobně jen svislá část základů a suterénní zdivo, které bývá sestaveno z dutých betonových tvarovek, do kterých se vloží výztuž a následně dojde k vyplnění betonem.

Díky své poměrně velké tepelné vodivosti by stěna z železobetonu nevyhověla ani normou požadovaným hodnotám, natož doporučeným. I suterénní zdivo nebo část základů pod úrovní terénu je dnes běžné zateplit.



*Obrázek 8: Betonová tvarovka s přípravou pro vložení výztuže*

### **3.3.2 Vícevrstvé zdivo**

Pojem vícevrstvé zdivo znamená, že kromě nosného zdiva je v konstrukci přítomná i vrstva tepelného izolantu. Materiálů pro nosnou část konstrukce je poměrně velké množství. K nejpoužívanějším a také nejkonzervativnějším dnes patří keramické bloky. Dále lze použít také pórobetonové tvarovky nebo tvárnice z keramzitbetonu. Poměrně velkému rozmachu se dnes těší také dřevostavby, které také uživateli přináší spoustu výhod.

Vícevrstvé konstrukce jsou dnes zřejmě nejběžnější záležitostí. Často dochází k dodatečnému zateplování starších stavebních objektů, zejména při jejich přístavbách, nástavbách a jiných rekonstrukcích. Stejně tak se však zateplují i novostavby, ať už se jedná o rodinné nebo bytové domy, tak i školy, nemocnice, administrační budovy a další stavby občanského vybavení.

Velice důležité je při návrhu takového systému dbát na požární odolnost. Jelikož jsou požární směrnice a normy závazné, je nutné dodržet veškeré požadavky. Ne vždy je možné použít hořlavý zateplovací materiál.

### 3.3.2.1 Keramické zdivo

Výrobci keramického zdiva dnes nabízejí různé typy tvarovek, ze kterých je možno vybírat i pro obvodové zdivo. Neliší se pouze rozměry, ale také pevností, tepelným odporem nebo akustickými vlastnostmi.

Velkou výhodou přináší broušené cihelné bloky. Díky přesným rozměrům již není třeba používat standardních 10–12 mm malty. Díky využití tenčí vrstvy malty nebo fixační pěny se do konstrukce vnáší daleko méně vlhkosti. Díky systému pero – drážka také není potřeba malta pro svislé spoje tvárnic.

Keramické tvárnice jsou velice pevné v tlaku, proto není problémem použít pro obvodovou svislou konstrukci tvarovku tloušťky 250 mm. Společně s dostatečným kontaktním zateplením tvoří velice dobrou kombinaci statické únosnosti a tepelného odporu celkové stavební konstrukce.

Další výhodou keramického zdiva je jeho nenasákavost. Tvarovky téměř neabsorbují vzdušnou vlhkost.

Mezi zápory stěn tohoto typu lze zařadit jejich vysokou hmotnost. Přestože jsou moderní tvarovky děrované, což mimo jiné vede i ke zlepšení tepelných vlastností, zůstávají poměrně těžké.

K neduhům také patří poměrně špatná opracovatelnost. Není vůbec snadné tvarovku různě upravovat. Často při řezání a podobných úpravách dochází k částečnému odštípnutí nebo prasknutí tvárnice.



*Obrázek 9: Keramická tvarovka pro vícevrstvé obvodové zdění*

### **3.3.2.2 Pórobeton**

Tvarovky z pórobetonu jsou také velice známé a na našem trhu poměrně rozšířené. V nabídce jsou kompletní systémy pro výstavbu z tohoto materiálu. Plynotvorné látky použité při výrobě zajišťují velmi příznivé tepelné vlastnosti tohoto materiálu.

Pórobetonové tvárnice se vyrábí v přesných rozměrech na pero a drážku. Díky tomu také není vyžadováno velké množství malty při výstavbě.

Velice nízká objemová hmotnost tohoto materiálu výrazně ulehčí manipulaci s tímto typem zdiva. Často tvoří obvodovou část železobetonových konstrukcí jakožto nenosné zdivo.

Dalším plusem tohoto zdiva je snadná opracovatelnost. Tvarovky není vůbec obtížné libovolně upravit seříznutím, případně v nich vytvořit drážku například pro elektroinstalaci.

Nicméně i tento materiál má své slabší stránky. Mezi ně se bohužel řadí především vysoká nasákavost. Zdi z tohoto materiálu značně absorbují vodu, ale také vzdušnou vlhkost, proto jsou potřeba opatření, které vniku vlhkosti do konstrukce zamezí.

Další nevýhodou je oproti keramickým a betonovým tvarovkám relativně nízká pevnost v tlaku. I proto se například čtyřpodlažní bytovky staví z keramiky, nikoliv z pórobetonu. U vyšších budov, jak již bylo výše zmíněno, tvoří pouze nenosnou část konstrukce.

Pórobeton má také o něco horší akustické parametry, než je tomu u keramických a betonových tvarovek.

I přes některé své nedokonalosti může být v domě z tohoto materiálu velmi příjemné klima. Pro ještě lepší tepelné vlastnosti se pak opět může postarat systém kontaktního zateplení.

### 3.3.2.3 Keramzitbeton

I z lehčeného betonu je dnes možnost postavit celý dům. Tvárnice pro vícevrstvé zdění se také vyrábí ve velkém množství tloušťek, tak i v několika pevnostních třídách.

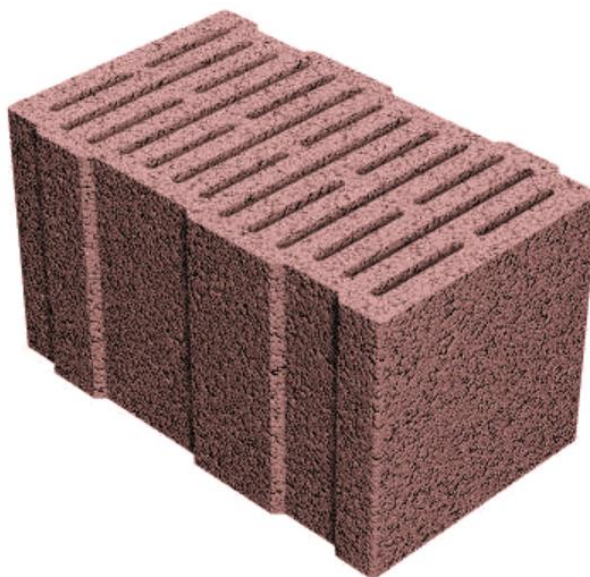
Tvarovky z keramzitbetonu jsou díky přírodnímu keramickému kamenivu mnohem lehčí, než by tomu bylo při použití běžného betonu. I přesto mají relativně vysokou pevnost v tlaku.

Stavební dílce z tohoto materiálu jsou také nehořlavé a mají velmi dobré akustické vlastnosti

K záporům především patří složitá opracovatelnost a křehkost. Obdobně jako u keramických tvarovek je poměrně těžké i keramzitové různě upravovat přímo na staveništi.

Bloky se často vyrábí z pěti stran uzavřené. To na jednu stranu vede ke snížení množství vody vnášené do konstrukce během výstavby, na druhou stranu ale vznikají liniové tepelné mosty.

V kombinaci s kontaktním zateplením tvoří lehčený beton velmi zajímavou alternativu dnes nejvíce používanému keramickému zdivu. Dle mého názoru je poměrně velká škoda, že velké množství lidí ani neví, že tento zdící systém existuje.



*Obrázek 10: Keramzitbetonová tvarovka pro vícevrstvé zdění*

### **3.3.2.4 Železobeton**

U větších stavebních objektů je použití železobetonu poměrně žádoucí. Díky své pevnosti v tlaku unese i mnohapatrní stavby a díky dobrému vyztužení (případně předpětí) dokáže velmi dobře odolávat i ohybovým účinkům, při kterém se ocelová výztuž postará o tahové účinky sil působících v konstrukci.

U běžných rodinných domů se železobeton může vyskytnout nanejvýš jako suterénní zdivo, které i pod úrovní terénu zateplujeme.

Železobeton je oproti ostatním poměrně levný materiál. Je také velmi odolný a trvanlivý, dobře odolává požáru a při správném návrhu a údržbě i povětrnostním vlivům.

Jako obvodové zdivo pro svůj domek si ho ale nevybereme z těchto důvodů. Je velmi tepelně vodivý. Muselo by se použít velké množství izolantu pro dosažení alespoň požadovaných hodnot součinitele prostupu tepla. Jedinou přijatelnou variantou využití betonu v obvodové zdi je systém Medmax využívající polystyrenové tvarovky jako ztracené bednění.

Poměrně vysoká je také zvuková vodivost betonu, bylo by zapotřebí použít zvukovou izolaci.

Při tuhnutí a tvrdnutí nastávají objemové změny, je třeba betonové části dilatovat.

Případné rekonstrukce jsou velmi pracné a nákladné.

I tento materiál jsem použil v porovnání s ostatními. Nicméně je to především z důvodu toho, abych ukázal, proč není optimální bydlet v „bunkru“.

### **3.3.2.5 Dřevostavba**

V dnešní době se dřevostavby těší poměrně velkému rozmachu. Zdá se, že si tento trend rodinných domů, který je velmi oblíbený například v Kanadě, Švýcarsku nebo Skandinávii, získává stále více zájemců i v našich končinách.

K výhodám rozhodně patří využití přírodního materiálu. Obvodové konstrukce mohou být masivní nebo trémové s externím zateplením, přičemž u trémového systému se tepelná izolace vkládá i mezi samotné nosné prvky.

Výstavba dřevostaveb je velice rychlá. Ve výrobní hale se připraví již hotové panely, často i se samotným externím zateplením. Následuje transport na staveniště a montáž na připravenou desku. Samotný proces montáže je urychlen především díky tomu, že není nutné použití mokrého procesu.

Mezi velké plusy také patří lehkost celé konstrukce. Oproti domům z jiných typů zdiva daleko méně zatěžuje základovou desku.

Standardní záležitostí je také použití nehořlavých sádrovláknitých desek, které obalují samotnou nosnou konstrukci v případě využití trémového systému.

Dalším velkým benefitem tohoto typu konstrukce je menší tloušťka konstrukce. Stěna s tloušťkou okolo 300 mm s přehledem splňuje i normou doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla.

Mezi nevýhody tohoto stavebního systému patří obtížnější napojování předpřipravených panelů, díky čemuž pak může ve spojích docházet netěsnostem a tím i vnikání vlhkosti do konstrukce.

Dřevěné konstrukce také nedosahují takových tepelně akumulačních hodnot, jako například zeď z keramických tvarovek.

### **3.4 Tepelné mosty**

K nejrozšířenějším tepelným mostům v občanské výstavbě patří především:

#### **3.4.1 Sokly**

Přestože teplo stoupá vzhůru a největší důraz je proto kladen na zateplení střechy, patří založení stavby a sokl k jednomu z nejproblematictějších míst. Z důvodu vlhkosti, jež je ve velkém množství přítomna v zemině a která vzlíná do konstrukce, je zapotřebí dokonalá hydroizolace, aby nedocházelo k trvalé degradaci materiálů, případně kolapsu celé stavby.

#### **3.4.2 Překlady**

Samotné výplně otvorů obvodovou stěnu nad sebou neudrží, proto je nezbytné použití překladů. Překlady jsou ve většině případů vyráběny z pevnějších a teplo vodivějších materiálů než zdivo samotné. Proto je potřeba dbát zvýšené pozornosti i pro tyto často se vyskytující prvky.

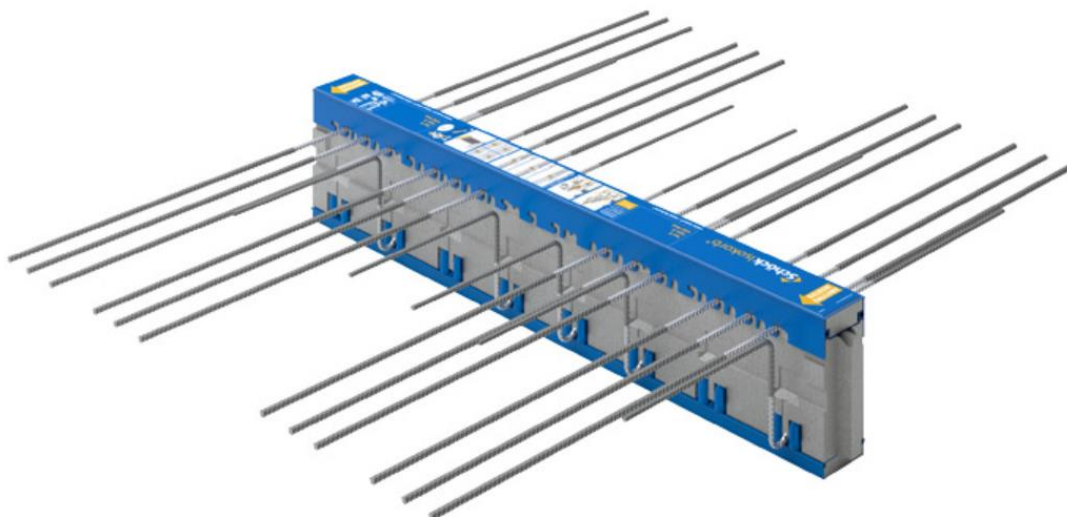
Výše uvedeným tepelným mostům se budu detailněji věnovat v grafické části této diplomové práce.

#### **3.4.3 Balkóny a konzoly**

Železobetonová deska vykonzolovaná z objektu dokáže odolat poměrně velkému zatížení. To ovšem znamená i velké tepelné ztráty. Teplo je velmi intenzivně odváděno do exteriéru a kvůli velké teplosměnné ploše i snadno odevzdáváno do okolí. Tento typ již existujících balkónů (a dalších konzol) je nutno tepelně zaizolovat ze všech stran.

Při návrhu nového balkónu je lepší tepelný most přerušit již v místě styku se svislou konstrukcí. Lze toho dosáhnout například vložením desek z tepelné izolace mezi nosníky pokračující z interiéru do vnějšího prostředí. Dosáhneme tak částečnému přerušení velkým tepelným ztrátám. Stále však vznikají lokální tepelné mosty. Lepším řešením jsou proto ISO-nosníky, které jako jediné dokáží splnit doporučené hodnoty lineárního činitele prostupu tepla. Jedná se o finančně náročnější variantu při výstavbě, nicméně tato možnost nejlépe vyřeší tak kritický detail, jako je vykonzolovaná konstrukce.





Obrázek 11: ISO-nosník

#### **3.4.4 Věnce**

Ztužující věnec, často ve spojení se stropní konstrukcí, je dalším těžkým a teplo vodivým prvkem stavby. Tato lineární část domu představuje hrozbu vzniku tepelného mostu. Pro věnce proto platí podobná pravidla zateplení, jako u některých typů překladů. Především správné umístění tepelné izolace, případně v kombinaci s věncovkami, dokáže tento druh tepelného mostu eliminovat.

#### **3.4.5 Výplně otvorů**

Okna a dveře jsou pro fungování domu nezbytnými součástmi. Mají ale také na svědomí velké tepelné ztráty. Jde nejen o prostupy tepla zasklenou a neprůsvitnou částí, ale také liniovými tepelnými mosty mezi křídlem a rámem otvoru a mezi rámem a konstrukcí samotnou. Proto je nutno dbát nejen na správný výběr okna, který bude splňovat požadované izolační vlastnosti, ale také dbát kvalitního zasazení oken a dveří do konstrukce a zajištění spár proti tepelným únikům. Pro běžné stavby je již standardem dotažení tepelné izolace k rámu po celém obvodu na straně exteriéru. Ještě lepší variantou je pak vykonzolování oken do úrovně kontaktního zateplení objektu.

#### **3.4.6 Kouty a rohy**

Pokud nestavíme iglú, vždy po obvodu objektu najdeme rohy a kouty. V těchto místech především je nutno dbát přesnosti při výstavbě, jelikož na toto místo

působí klimatické vlivy exteriéru ze dvou (v místě uložení střechy i ze tří) stran. Proto je zapotřebí nejen dodatečné zateplení konstrukce, ale také dodržení technologického postupu při realizaci. Díky většímu vlivu venkovního prostředí zde dochází k většímu poklesu povrchové teploty než uprostřed stěny. V chladném období by zde jinak mohlo dojít ke kondenzaci vodních par a vzniku plísni.

#### **3.4.7 Kotevní prvky**

Kotevní prvky patří k systematickým tepelným mostům. Nejčastěji se s nimi setkáváme při kontaktním zateplení obvodových stěn (také ale například při kotvení izolací plochých střech). Jedná se o bodové tepelné mosty, které v předepsaných místech procházejí skrz tepelnou izolaci a degradují tak celkové tepelné izolační vlastnosti tohoto typu zateplení. Jelikož jsou kotvící prvky nutností, nelze je vynechat, snaží se výrobci navrhovat kotevní prvky tak, aby měly na zhoršení vlastností tepelné izolace co nejmenší vliv. Používají proto nejen kov pro ukotvení do nosné části konstrukce, ale například plastové nástavce, které nejsou natolik vodivé, a výrazně tak snižují lokální tepelné úniky na minimum.



*Obrázek 12: kotevní prvek tepelné izolace*

### 3.5 Tepelně izolační materiály

K nejčastěji používaným materiálům pro tepelnou izolaci staveb řadíme:

#### 3.5.1 EPS – Expandovaný polystyren

Pěnový polystyren nachází uplatnění v mnoha odvětvích. Ve stavebnictví ho využíváme především pro jeho tepelně izolační vlastnosti. Díky své velmi nízké hmotnosti a odolnosti proti stlačení, vlhkosti a teplotním výkyvům je využíván nejen jako fasádní zateplení, ale můžeme ho použít i v podlaze nebo jako izolaci střechy.

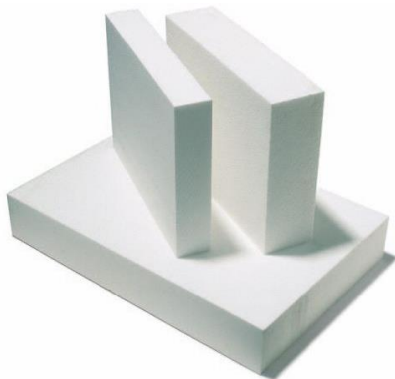
Díky poměrně snadné výrobě je u nás z důvodu ceny a dostupnosti nejrozšířenějším tepelným izolantem. Je zdravotně nezávadný, proto může být využit téměř kdekoliv. V dnešní době se můžeme setkat i s černým (tmavě šedým) polystyrenem. Ten dosahuje díky grafitové složce přibližně o 15 % lepších izolačních vlastností.

Největší nevýhodou tohoto materiálu je jeho hořlavost. Proto nemůže být použit v místech, která odporují požárním normám a směrnicím.

Další nevýhodou je jeho odolnost vůči vysokým teplotám. Při překročení teploty 70 °C dochází k trvalé degradaci materiálu.

Expandovaný polystyren také musíme chránit před kontaktem s rozpouštědly. Proto je nutné separovat vrstvu EPS například od PVC fólie v konstrukci ploché střechy.

Po dosloužení v konstrukci lze EPS poměrně jednoduše recyklovat. Částečně ho lze využít opět pro výrobu tepelné izolace. Dále se z něj vyrábí například formy pro přepravu nejrůznějších výrobků, nebo ho lze použít do zahradních substrátů.



Obrázek 13: Desky z EPS

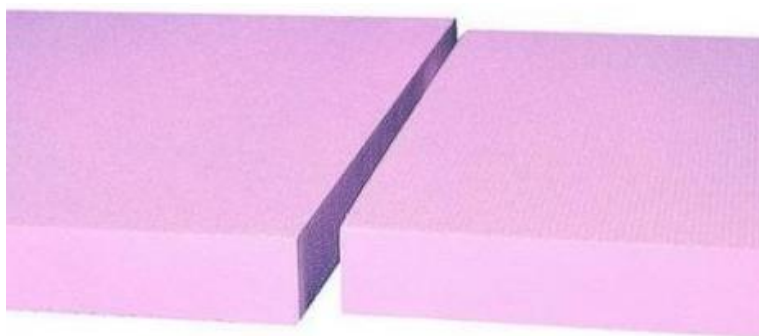
### 3.5.2 XPS – Extrudovaný polystyren

Tento materiál vychází ze stejné báze, jako EPS, má však jinou strukturu. Díky rozdílnému způsobu výroby dosahuje kromě vysoké tepelné odolnosti i dalších výhod, které nám expandovaný polystyren nenabídne.

Extrudovaný polystyren je nenasákavý, proto ho můžeme použít například pro konstrukci obrácených plochých střech, nebo tzv. DUO střech. Co se svislých konstrukcí týká, je ideálním řešením zateplení pod úrovní terénu. Dokáže totiž odolat nejen vlhkosti zeminy, ale také plísním nebo hmyzu a hlodavcům.

Stejně jako u EPS, i extrudovaný polystyren výrazně degraduje při vyšších teplotách (nad 75 °C). Obdobně je tomu i při kontaktu s organickými rozpouštědly.

Na zateplení fasády ho ale nepoužijeme především z finančních důvodů. Extrudovaný polystyren je totiž při podobných tepelně izolačních vlastnostech citelně dražší.



Obrázek 14: Desky z XPS

### 3.5.3 Minerální vlna

Tepelná izolace z minerálních vláken je vyráběna za vysoké teploty rozvlákněním čediče. Výroba je poměrně neekologická a energeticky náročná.

Výslednou hmotou je buď měkká rohož nebo tvrdá deska. Pro zateplování systémem ETICS se využívá tvrdých desek.

Největší výhodou tohoto materiálu je jeho nehořlavost. Minerální vlna spadá do třídy reakce na oheň A1, proto je vhodné ji využít především v místech s vysokými požadavky na požární bezpečnost.

Přestože při výrobě minerální vlna zanechává poměrně značnou ekologickou stopu a ani manuální práce s tímto materiálem nepatří mezi nejpříjemnější činnosti, nachází tento materiál široké využití. Nejenže se využívá jako tepelně izolační materiál, pro svou současnou schopnost tlumit hluk se využívá jako výplň ve stěnách dřevostaveb, sádrokartonových příček, nebo například ve vzduchotechnice při výrobě tlumičů.



*Obrázek 15: Deska z minerální vlny*

#### **3.5.4 PUR a PIR desky**

Desky z polyuretanu, případně polyisokianurátu jsou vyráběny pěněním do formy nebo seřezáním po volném pěnění.

Díky své extrémně nízké tepelné vodivosti se využívají především při nadkroevním zateplení šikmých střech.

Pro výborné tepelně izolační vlastnosti se jeví jako ideální materiál i pro kontaktní zateplení budov. Kvůli vyšší ceně se však tolik nevyužívá. Materiál je hořlavý, spadá do třídy reakce na oheň C – E podle konkrétního složení kompozitu.

Ve formě desek jde o poměrně mladou stavební záležitost. S postupem času (a zpřísněním norem) určitě dojde k rozšíření tohoto typu zateplení budov.



*Obrázek 16: PUR deska*

### 3.5.5 Pěnové sklo

Tento materiál se vyrábí z nového nebo recyklovaného skla. Zpěnění zajišťuje uhlíkový prach. Po zchlazení dochází k řezání a broušení.

Pěnové sklo je absolutně parotěsný materiál, proto se používá především v kritických detailech pro vlhká prostředí. Díky parotěsnosti je nedílnou součástí kompaktních plochých střech.

Materiál je nehořlavý, odolává všem fyzikálním a většině chemickým vlivům.



*Obrázek 17: Deska z pěnoskla*

### 3.5.6 Izolační omítky

Tepelně izolační omítky dosahují tepelné vodivosti  $\lambda$  okolo  $0,12 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ . Díky této hodnotě je nelze použít jako náhradu za polystyren, minerální vlnu, pěnosklo nebo PUR (PIR) desky. Omítky se používají nanejvýš pro vylepšení vlastností tepelně izolačních tvárnic pro jednovrstvé zdění. Především pro řešení detailů, jakými jsou například překlady a ostění otvorů.

### 3.5.7 Další materiály

K dalším tepelně izolačním materiálům řadíme dřevovláknité izolace, desky z technického konopí, celulózové izolace nebo například ovčí vlnu. S těmito izolanty se ale setkáme pouze sporadicky.

## **4. Grafická část**

Pro porovnání materiálů a jejich vlastností jsem použil referenční zeď o tloušťce 300 mm. Jedná se o konstrukci nadokenního překladu a soklu nepodsklepeného domu. Ukážu zde různé kombinace stavebních materiálů a tepelných izolací a porovnáám jejich výhody a nevýhody.

### **4.1 Okrajové podmínky**

Pro tepelně technické posouzení objektu jsou nutné okrajové podmínky. Jedná se o vlastnosti prostředí na různých stranách konstrukce. Jedná se především o teplotu prostředí, odpor při přestupu tepla, relativní vlhkost, součinitel přestupu vodní páry.

#### **4.1.1 Interiér**

Teplota vnitřního prostředí  $\Theta_{si} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (bez přírážky),

relativní vlhkost vzduchu v interiéru  $\varphi_{si} = 50 \text{ } \%$ ,

odpor při přestupu tepla pro výpočet teplotního faktoru zvýšen na  $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ,

součinitel přestupu vodní páry  $10 \cdot 10^{-9} \text{ s} \cdot \text{m}^{-1}$ .

#### **4.1.2 Exteriér**

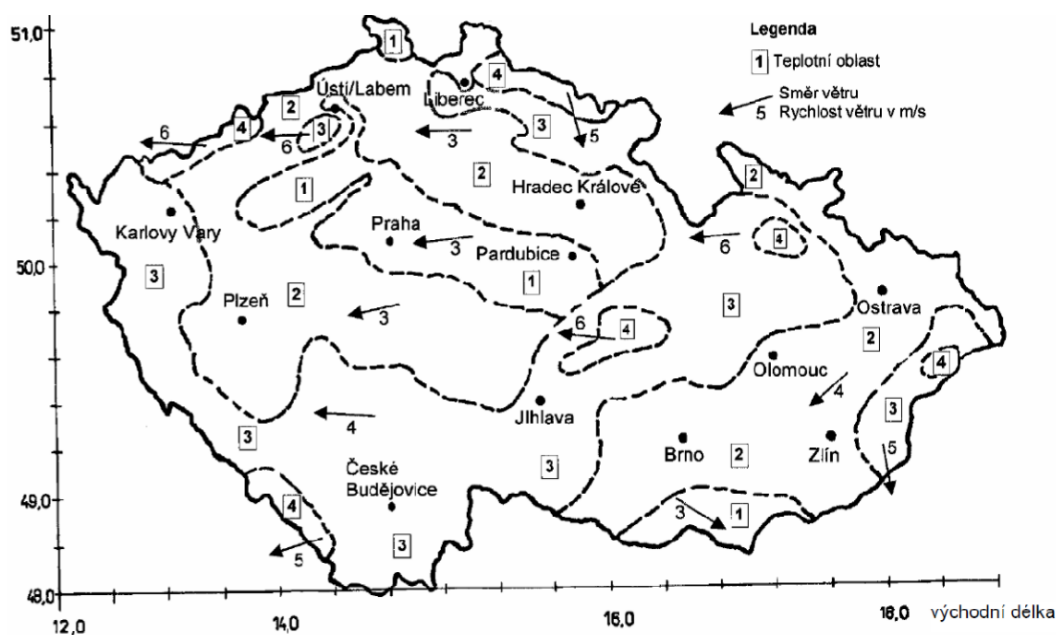
Teplota vnějšího prostředí  $\Theta_{se} = -15 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (velká část ČR, teplota pro Brno a okolí),

relativní vlhkost vzduchu v exteriéru  $\varphi_{se} = 84 \text{ } \%$ ,

odpor při přestupu tepla  $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ,

součinitel přestupu vodní páry  $20 \cdot 10^{-9} \text{ s} \cdot \text{m}^{-1}$ .





teplotní oblast	prům. nadmořská výška	základní návrhová teplota venkovního vzduchu pro 100 m.n.m.	základní teplotní gradient nad 100 m.n.m
	$h$ [m.n.m.]	$\theta_{e,100}$ [°C]	$\Delta\theta_{e,0}$ [°C]
1	240	-12	-0,5
2	320	-14	-0,3
3	540	-16	-0,2
4	820	-18	-0,2

Obrázek 18: Teplotní oblasti ČR v zimním období

Návrhová teplota vnitřního vzduchu $\theta_{ai}$ [°C]	Návrhová venkovní teplota $\theta_e$ [°C]								
	-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-21
	Kritický teplotní faktor vnitřního povrchu $f_{Rsi,cr}$								
20,0	0,748	0,746	0,744	0,751	0,757	0,764	0,770	0,776	0,781
20,3	0,750	0,747	0,745	0,752	0,759	0,765	0,771	0,777	0,782
20,6	0,751	0,749	0,747	0,754	0,760	0,766	0,772	0,778	0,783
20,9	0,753	0,751	0,748	0,755	0,762	0,768	0,773	0,779	0,784
21,0	0,753	0,751	0,749	0,756	0,762	0,768	0,774	0,779	0,785
Návrhová teplota vnitřního vzduchu $\theta_{ai}$ [°C]	Návrhová venkovní teplota $\theta_e$ [°C]								
	-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-21
	Teplota odpovídající kritickému teplotnímu faktoru vnitřního povrchu $f_{Rsi,cr}$ [°C]								
20,0	11,86	11,36	11,04	11,02	11,02	11,02	11,02	11,02	11,02
20,3	11,98	11,62	11,30	11,30	11,30	11,30	11,30	11,30	11,30
20,6	12,23	11,92	11,59	11,58	11,58	11,58	11,58	11,58	11,58
20,9	12,53	12,21	11,85	11,86	11,86	11,86	11,86	11,86	11,86
21,0	12,60	12,29	11,96	11,96	11,96	11,96	11,96	11,96	11,96

Obrázek 19: Tabulky hodnot pro kritický teplotní faktor a odpovídající teplotu



## **4.2 Referenční konstrukce**

Jako konstrukce pro porovnání vlastností materiálů mi bude sloužit zeď tloušťky 300 mm. Nejprve posoudím pouze omítnutou zeď. Pokud nevyhoví normovým požadavkům, provedu dodatečné zateplení různými typy izolantů a následně porovnáím jejich vlastnosti a vhodnost.

## **4.3 Překlady**

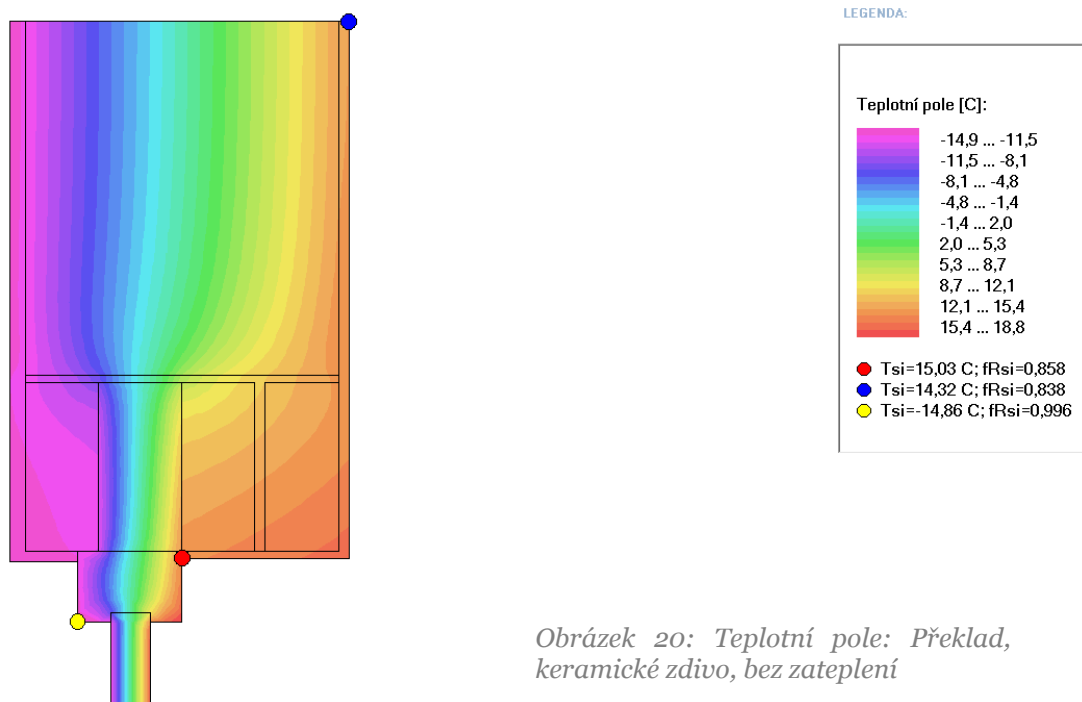
Nejprve se blíže podívám na překlady nad otvory v konstrukcích.

### **4.3.1 Bez dodatečného zateplení**

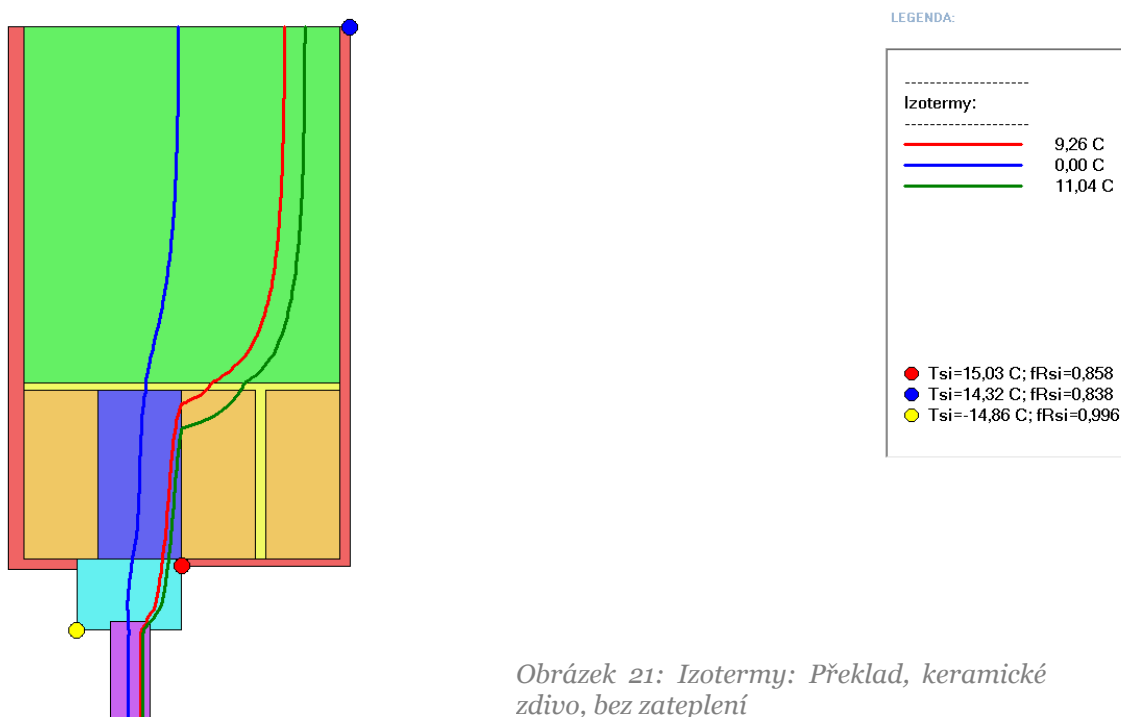
Pro porovnání materiálů jsem zvolil svislou stavební konstrukci tloušťky 300 mm. Stěna je oboustranně omítnutá. Omítka v exteriéru je vnější štuková tloušťky 15 mm, v interiéru jemná štuková o tloušťce 10 mm.

## Keramické zdivo

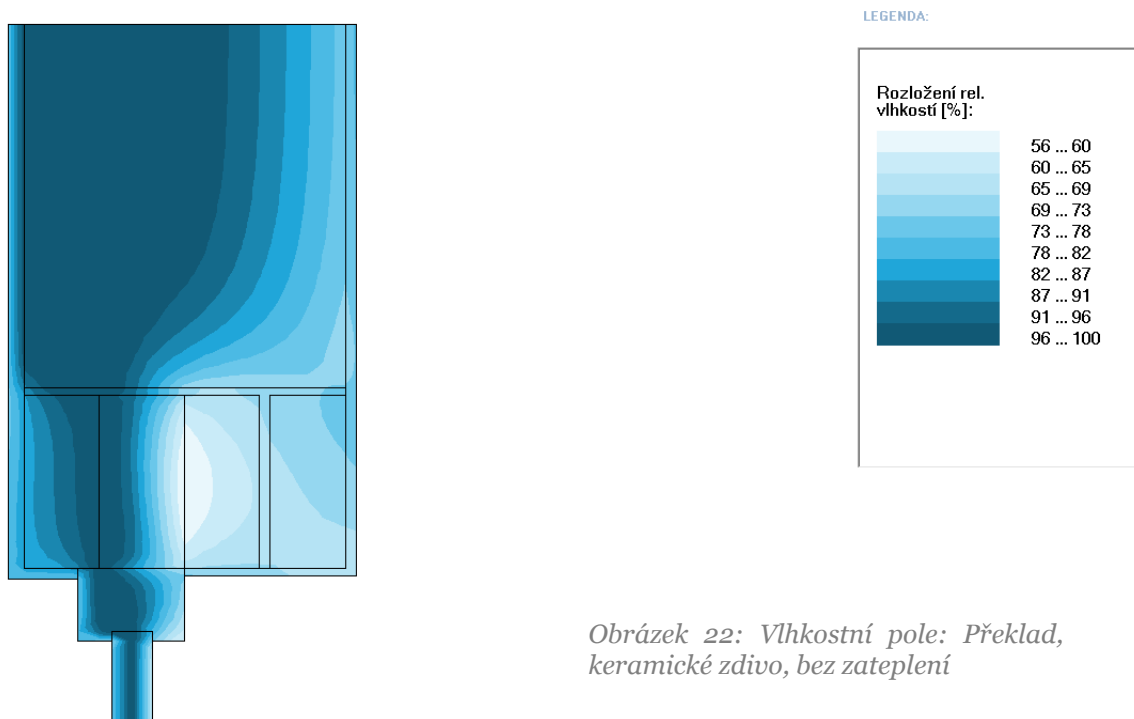
Pro keramické zdivo jsem zvolil tvarovku Porotherm 30 P+D o tepelné vodivosti  $\lambda = 0,25 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . Překlad je tvořen třemi vodorovnými prvky Porotherm KP 7, mezi nimiž je vložen izolační prvek z expandovaného polystyrenu (EPS), který je umístěn nad oknem.



Obrázek 20: Teplotní pole: Překlad, keramické zdivo, bez zateplení



Obrázek 21: Izotermy: Překlad, keramické zdivo, bez zateplení



Obrázek 22: Vlhkostní pole: Překlad, keramické zdivo, bez zateplení

Z obrázku teplotního pole je zřejmé, jak důležitou součástí překladu je prvek tepelné izolace.

Modrá izoterma ukazuje, od kterého místa v konstrukci dochází k promrzání. Červená izoterma má hodnotu teploty rosného bodu, zelená pak hodnotu teploty odpovídající kritickému teplotnímu faktoru.

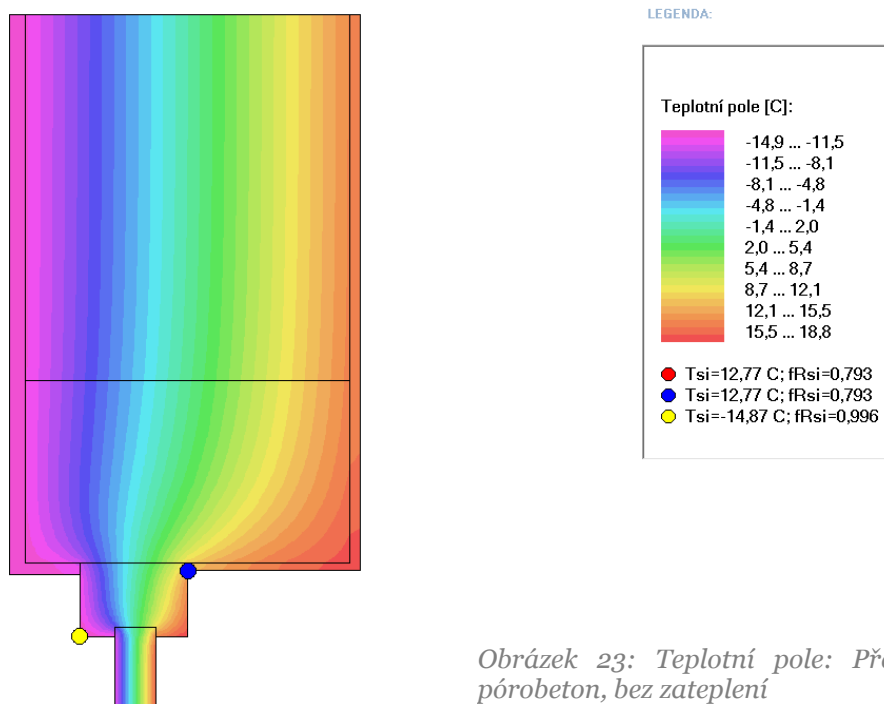
Konstrukce splňuje požadavek na minimální hodnotu teplotního faktoru.

Nelze ji však v praxi použít, jelikož nedosahuje hodnoty maximálního přípustného součinitele prostupu tepla.

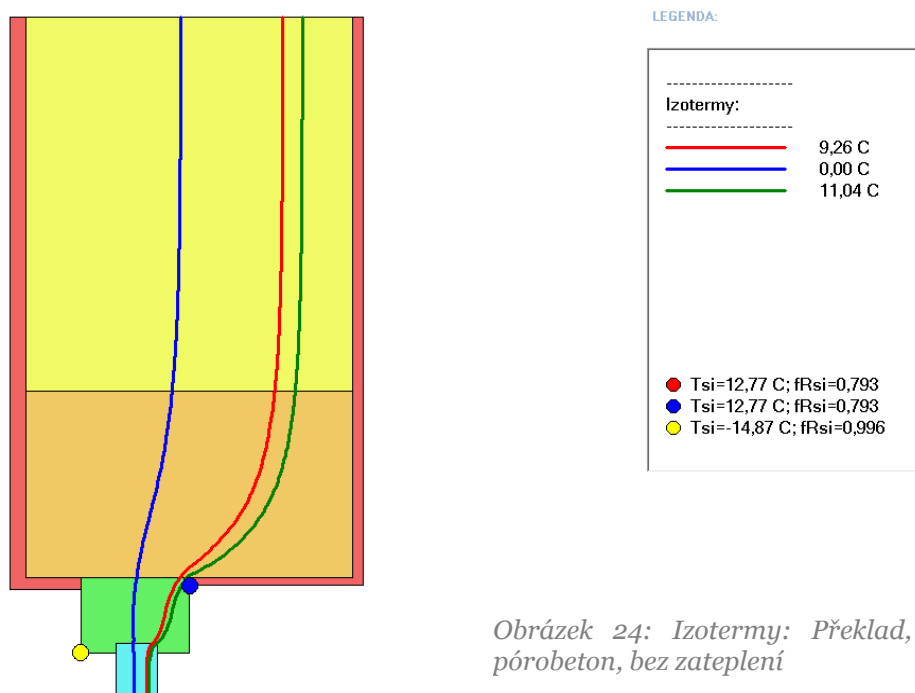
Na obrázku vlhkostního pole je vidět, ve které části konstrukce dochází ke kondenzaci vlhkosti.

## Pórobeton

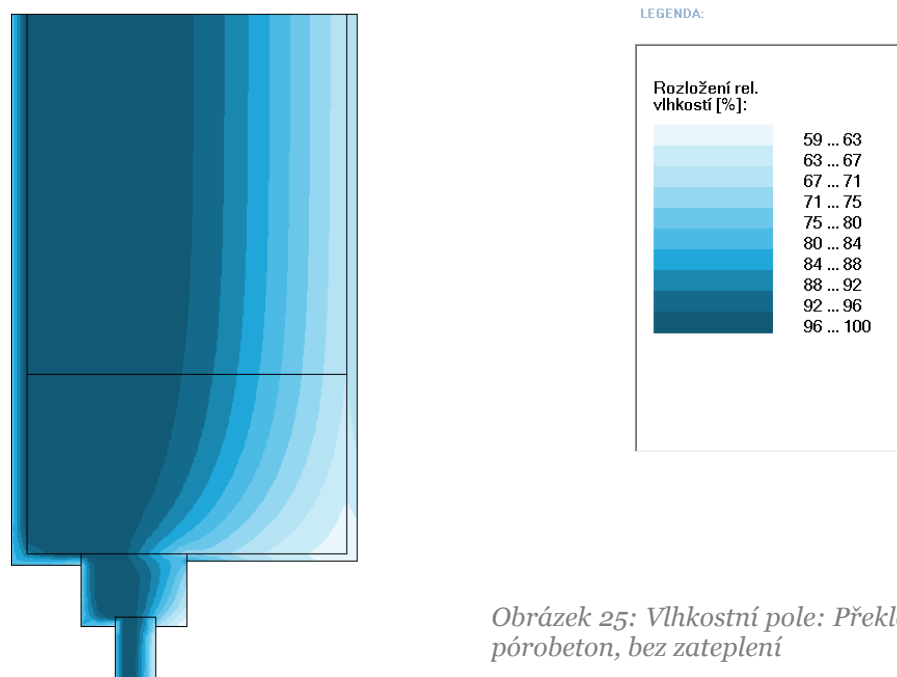
Pro konstrukci z pórobetonu jsem zvolil tvarovku Ytong P3-550 o tepelné vodivosti  $\lambda = 0,17 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . Překlad je také od firmy Ytong doplněn o železobeton, díky kterému se tepelná vodivost zhoršila na  $\lambda = 0,175 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ .



Obrázek 23: Teplotní pole: Překlad, pórobeton, bez zateplení



Obrázek 24: Izotermy: Překlad, pórobeton, bez zateplení



Obrázek 25: Vlhkostní pole: Překlad, pórobeton, bez zateplení

Teplotní pole nám ukazuje, že rozdíl ve vodivosti zdiva a překladu je minimální.

Modrá izoterma ukazuje, od kterého místa v konstrukci dochází k promrzání. Červená izoterma má hodnotu teploty rosného bodu, zelená pak hodnotu teploty odpovídající kritickému teplotnímu faktoru.

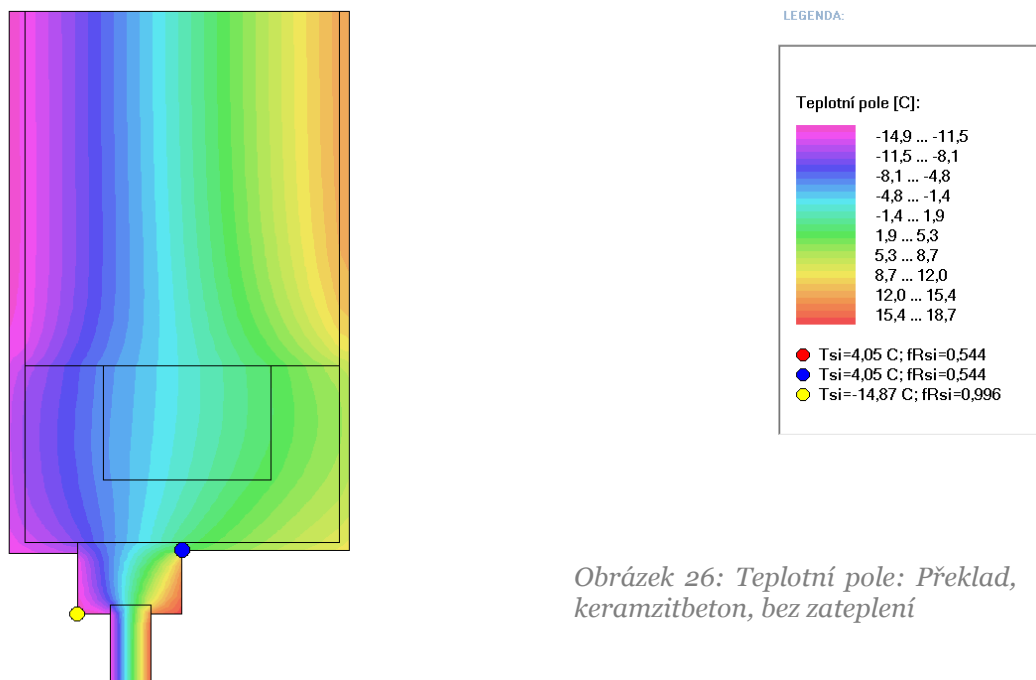
Konstrukce splňuje požadavek na minimální hodnotu teplotního faktoru.

Opět ale není splněn požadavek na součinitele prostupu tepla, proto je nutné konstrukci zateplit

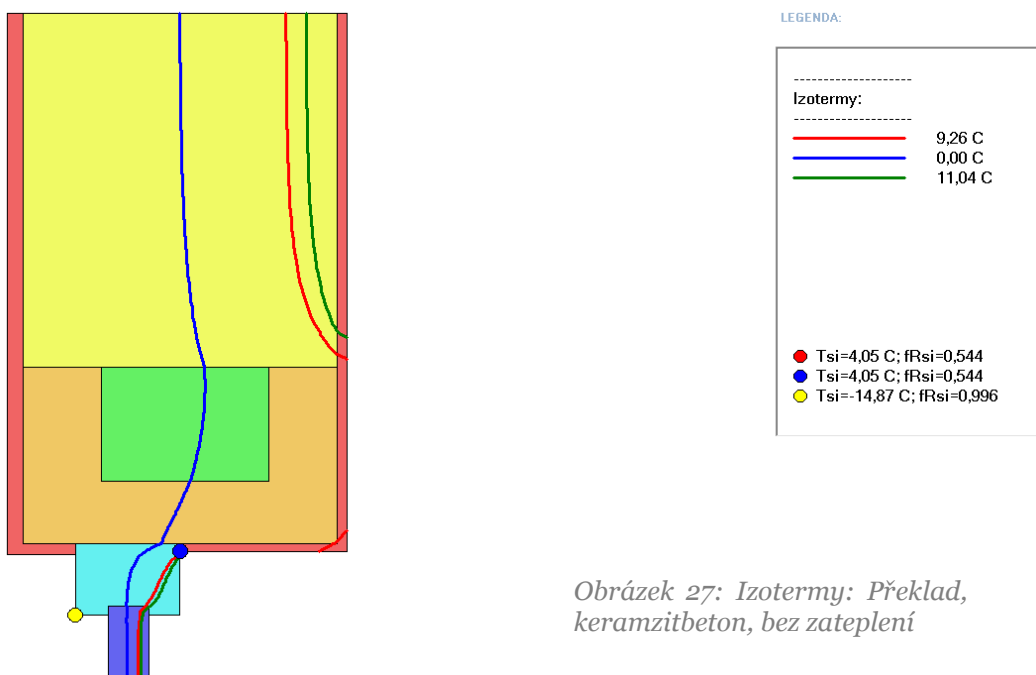
Na obrázku vlhkostního pole je vidět, ve které části konstrukce dochází ke kondenzaci vlhkosti

## Keramzitbeton

Pro konstrukci z pórobetonu jsem zvolil tvarovku Liapor pevnostní třídy 6 MPa o tepelné vodivosti  $\lambda = 0,26 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . Překlad taktéž od firmy Liapor s doplněním o železobeton



Obrázek 26: Teplotní pole: Překlad, keramzitbeton, bez zateplení



Obrázek 27: Izotermy: Překlad, keramzitbeton, bez zateplení



*Obrázek 28: Vlhkostní pole: Překlad, keramzitbeton, bez zateplení*

Na obrázku teplotního pole je znatelně vidět, že skrz překlad je odváděno nejvíce tepla.

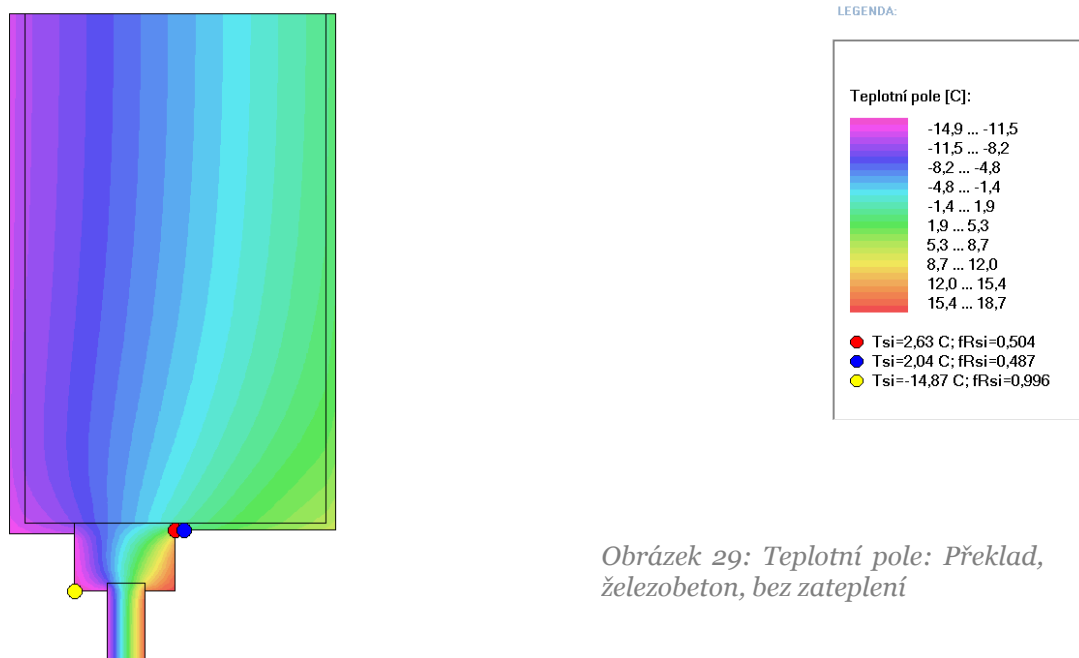
Modrá izoterma ukazuje, od kterého místa v konstrukci dochází k promrzání. Červená izoterma má hodnotu teploty rosného bodu, zelená pak hodnotu teploty odpovídající kritickému teplotnímu faktoru.

Na povrchu konstrukce bude kondenzovat vlhkost, konstrukce nesplňuje požadavek na minimální hodnotu teplotního faktoru.

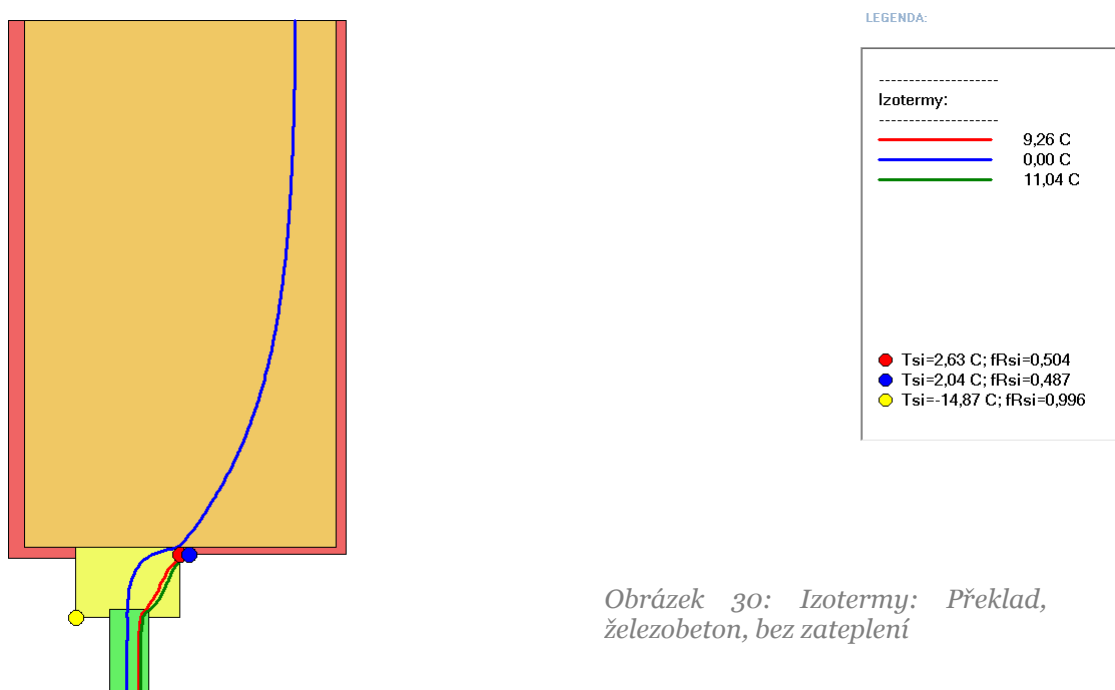
Na obrázku vlhkostního pole je vidět, že ke kondenzaci vlhkosti nedochází jen uvnitř konstrukce, ale i na povrchu. Tento detail je absolutně nevyhovující.

## Železobeton

Pro následující případ je stěna z železobetonu o měrné hmotnosti  $2500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a tepelné vodivosti  $\lambda = 1,74 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ .



Obrázek 29: Teplotní pole: Překlad, železobeton, bez zateplení



Obrázek 30: Izotermy: Překlad, železobeton, bez zateplení





*Obrázek 31: Vlhkostní pole: Překlad, železobeton, bez zateplení*

Teplotní pole nám ukazuje, jak chladný povrch konstrukce by byl při použití železobetonu jako zdícího materiálu.

Modrá izoterma nám ukazuje, že konstrukce promrzne až téměř do interiéru.

Jak již samotné obrázky napovídají, je železobeton pro jednovrstvé zdění naprosto nepřijatelný.

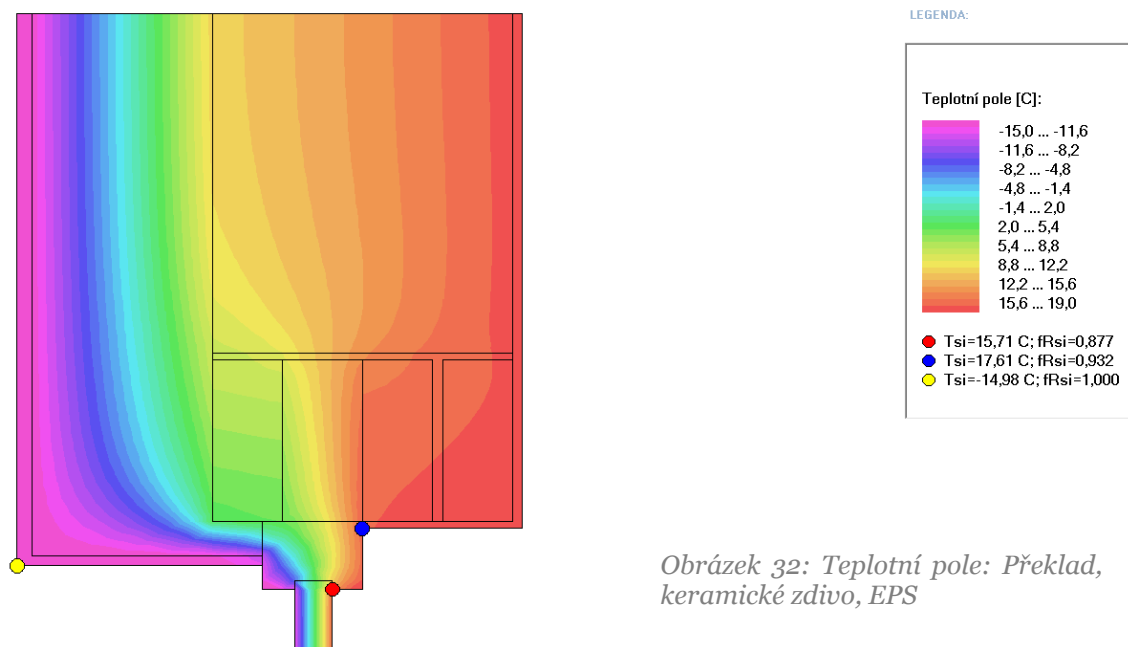
#### **4.3.2 S dodatečným zateplením**

Zde na každou výše zmíněnou svislou stavební konstrukci tloušťky 300 mm použiju nejčastější tepelně izolační materiály pro kontaktní zateplovací systémy. Jde o expandovaný polystyren, vlnu z minerálních vláken a PUR desky. Stěna zůstává oboustranně omítnutá. Omítka v exteriéru je vnější štuková tloušťky 15 mm, v interiéru jemná štuková o tloušťce 10 mm.

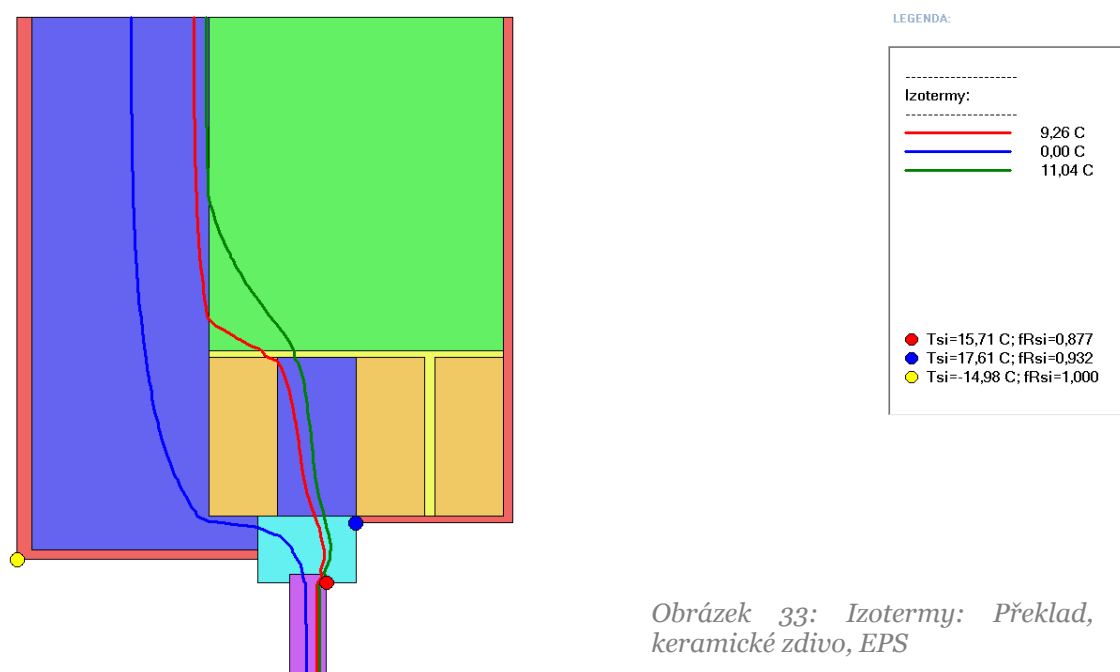
Pro tepelné izolanty byly použity návrhové hodnoty veličin.

## Keramické zdivo + EPS

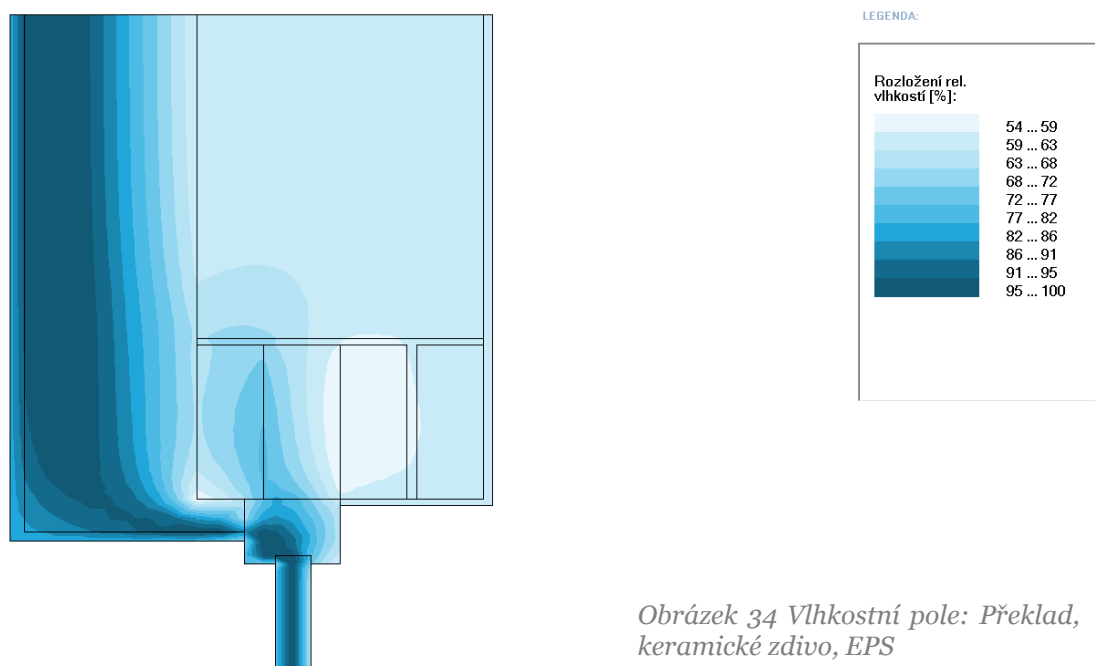
Vypočítaná tloušťka EPS pro splnění normou doporučených podmínek činí 180 mm.



Obrázek 32: Teplotní pole: Překlad, keramické zdivo, EPS



Obrázek 33: Izotermy: Překlad, keramické zdivo, EPS



Obrázek 34 Vlhkostní pole: Překlad, keramické zdivo, EPS

Na obrázku teplotního pole je znatelně vidět, že tepelný izolant daleko lépe odolává prostupu tepla než keramický střep.

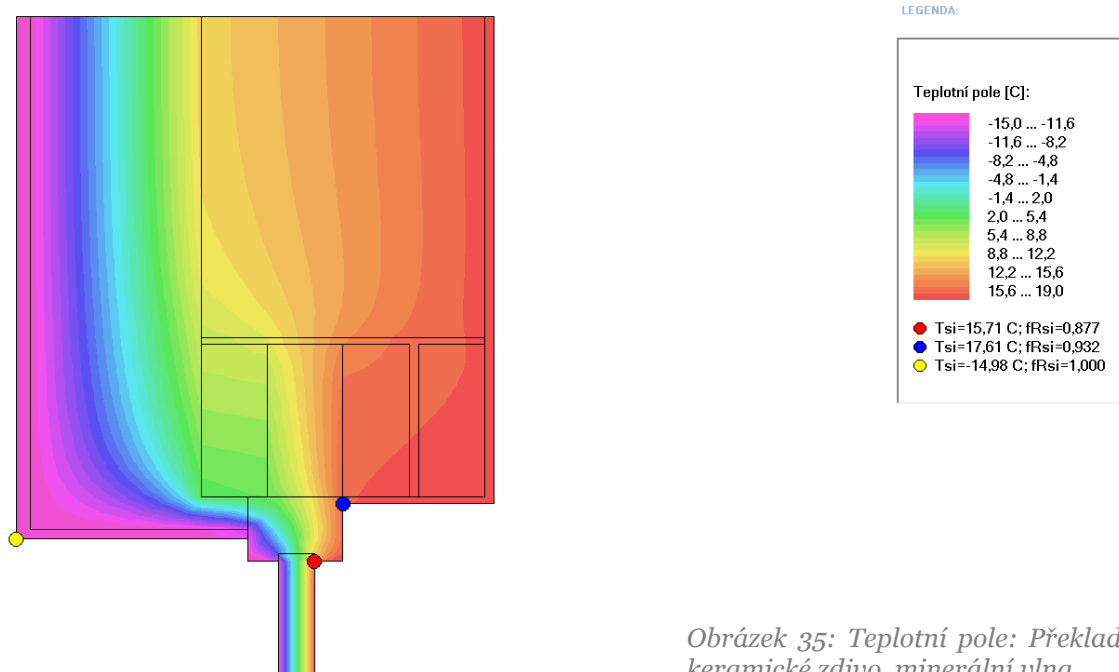
Modrá izoterma ukazuje, že k promrzání dochází pouze v izolantu. Nosná konstrukce má teplotu neustále kladnou.

Konstrukce splňuje požadavek na minimální hodnotu teplotního faktoru.

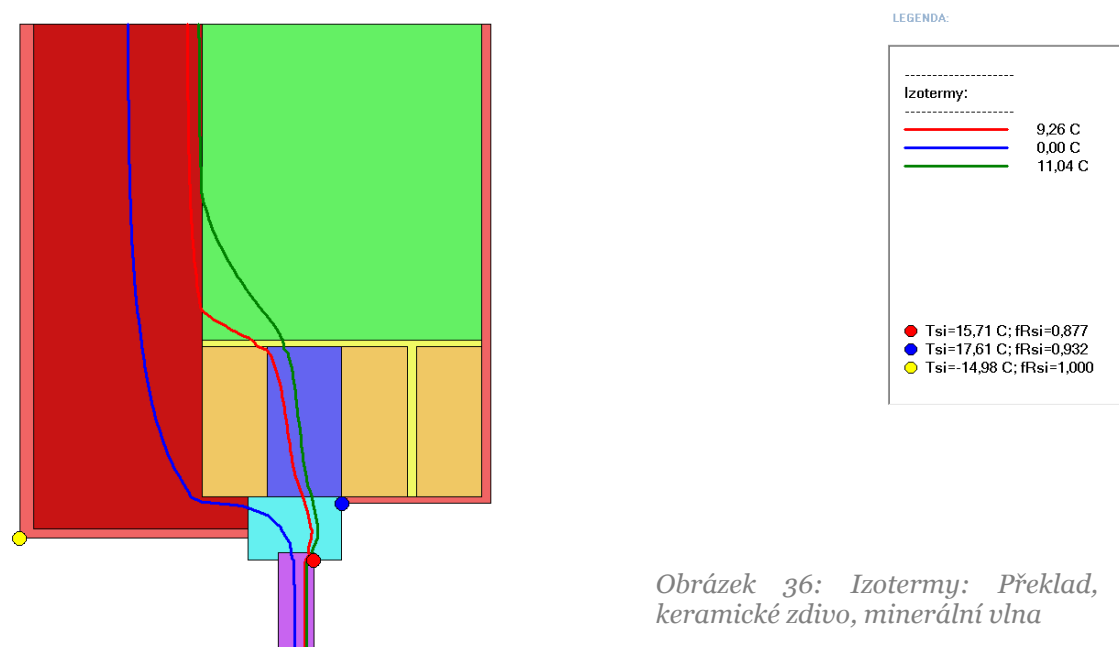
Na obrázku vlhkostního pole je vidět, že vlhkost se v konstrukci objevuje ve velmi dobrých hodnotách.

## Keramické zdivo + minerální vlna

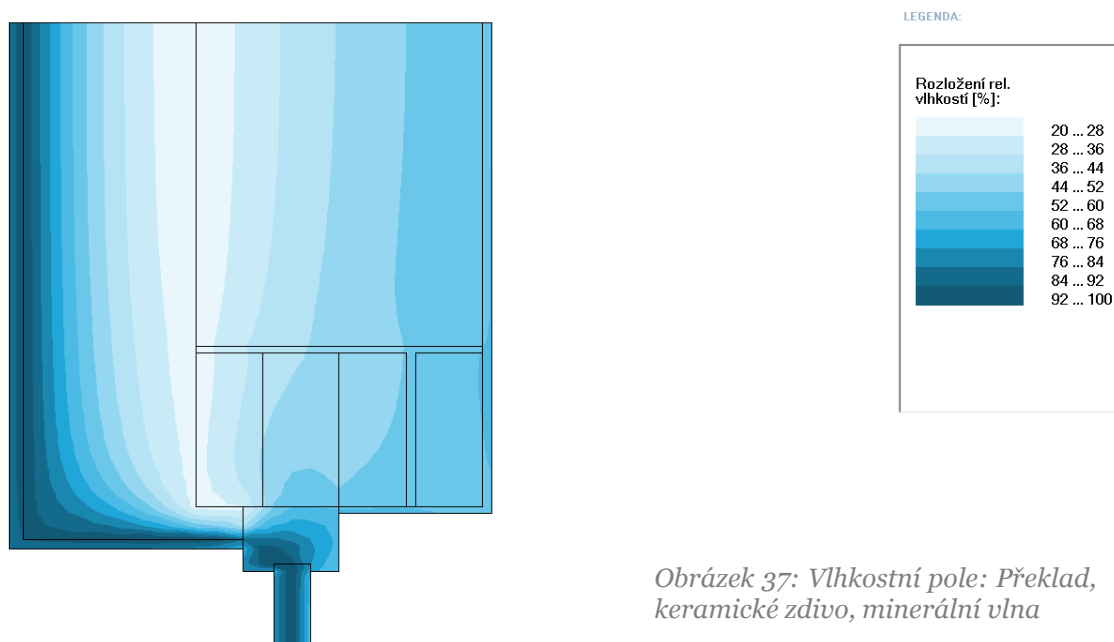
Potřebná tloušťka desek pro splnění normou doporučených podmínek byla vypočtena na 180 mm.



Obrázek 35: Teplotní pole: Překlad, keramické zdivo, minerální vlna



Obrázek 36: Izotermy: Překlad, keramické zdivo, minerální vlna

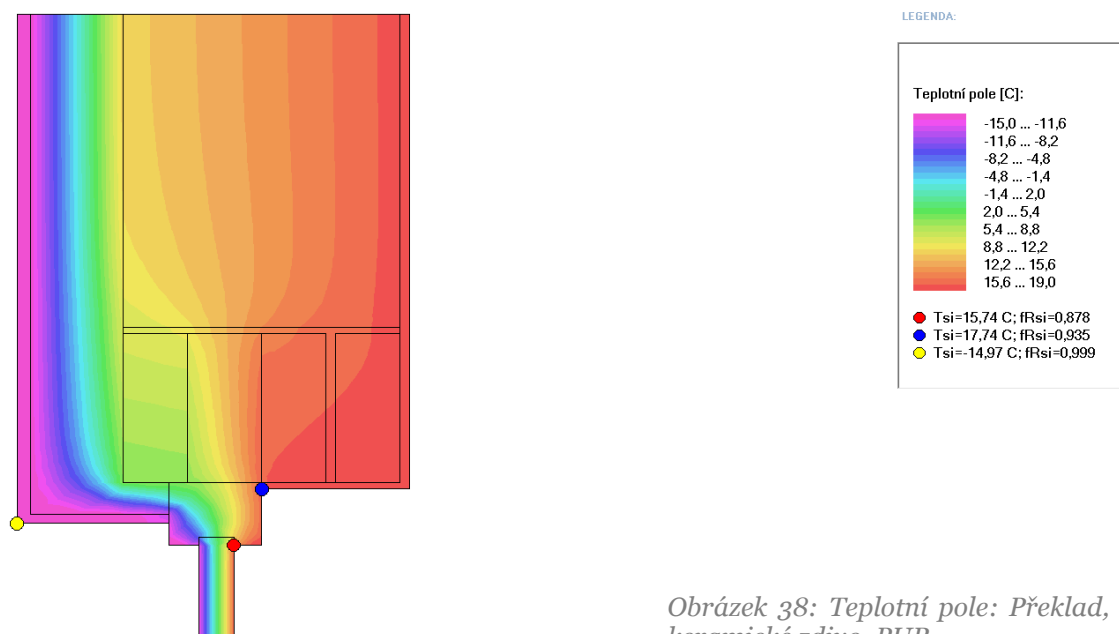


Obrázek 37: Vlhkostní pole: Překlad, keramické zdivo, minerální vlna

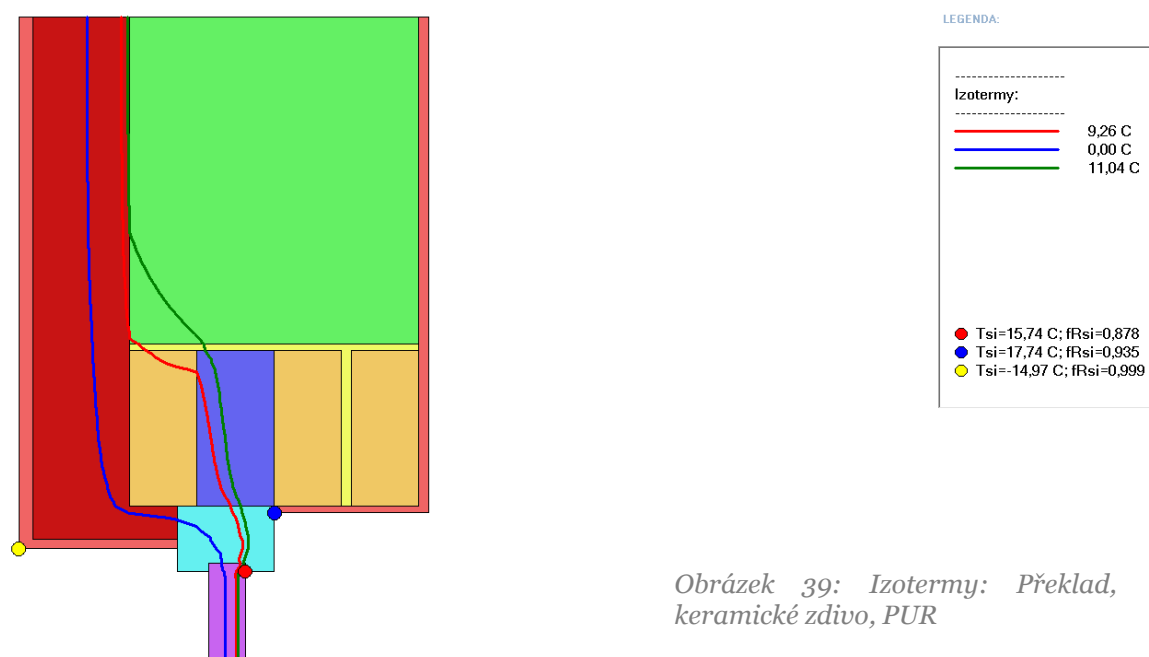
Díky velice podobným tepelně izolačním vlastnostem polystyrenu a minerální vlny jsou teplotní pole a průběh izoterem téměř totožné. Rozdíl mezi izolanty je znatelný až u pole vlhkosti. V tomto ohledu je uvnitř konstrukce díky minerální vlně o něco menší vlhkost než v případě zateplení polystyrenem.

## Keramické zdivo + PUR desky

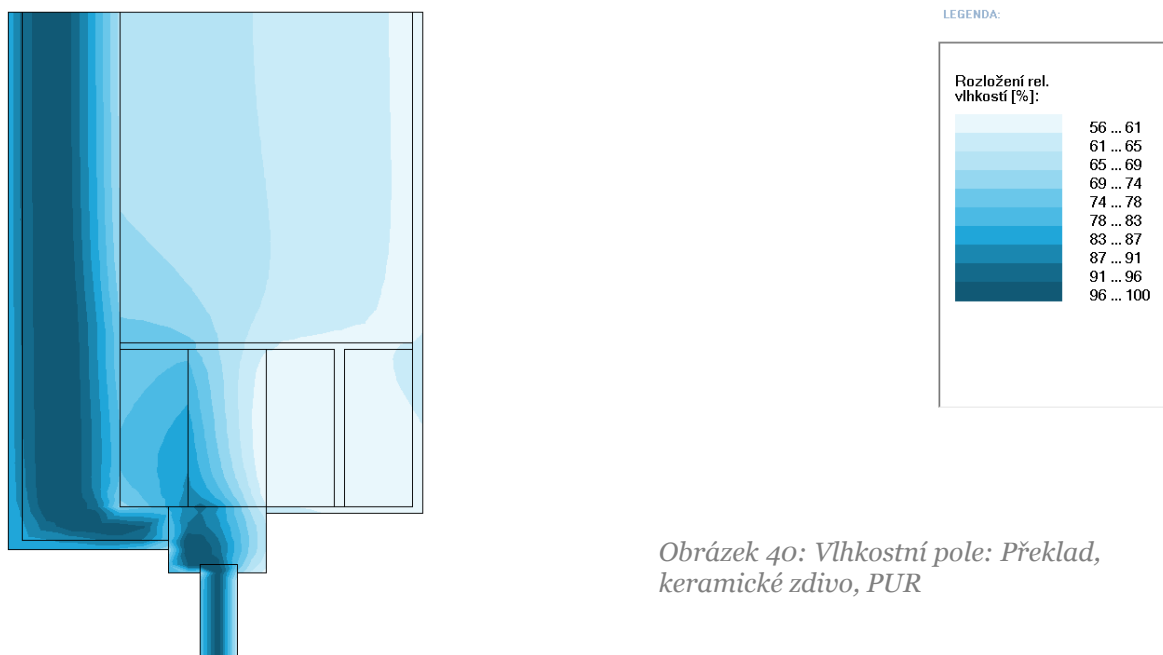
Díky velice nízké tepelné vodivosti bylo na zateplení keramického zdiva a splnění normou doporučených hodnot zapotřebí pouze 100 mm PUR desky.



Obrázek 38: Teplotní pole: Překlad, keramické zdivo, PUR



Obrázek 39: Izotermy: Překlad, keramické zdivo, PUR



Obrázek 40: Vlhkostní pole: Překlad, keramické zdivo, PUR

Na obrázku teplotního pole je znatelně vidět, jak velká část barevného spektra je vtěsnána do 100mm vrstvy tepelného izolantu. To značí o jeho velmi dobrých izolačních schopnostech.

Izotermy mají velice podobný průběh jako u EPS nebo minerální vlny. A to i přes daleko tenčí vrstvu izolantu.

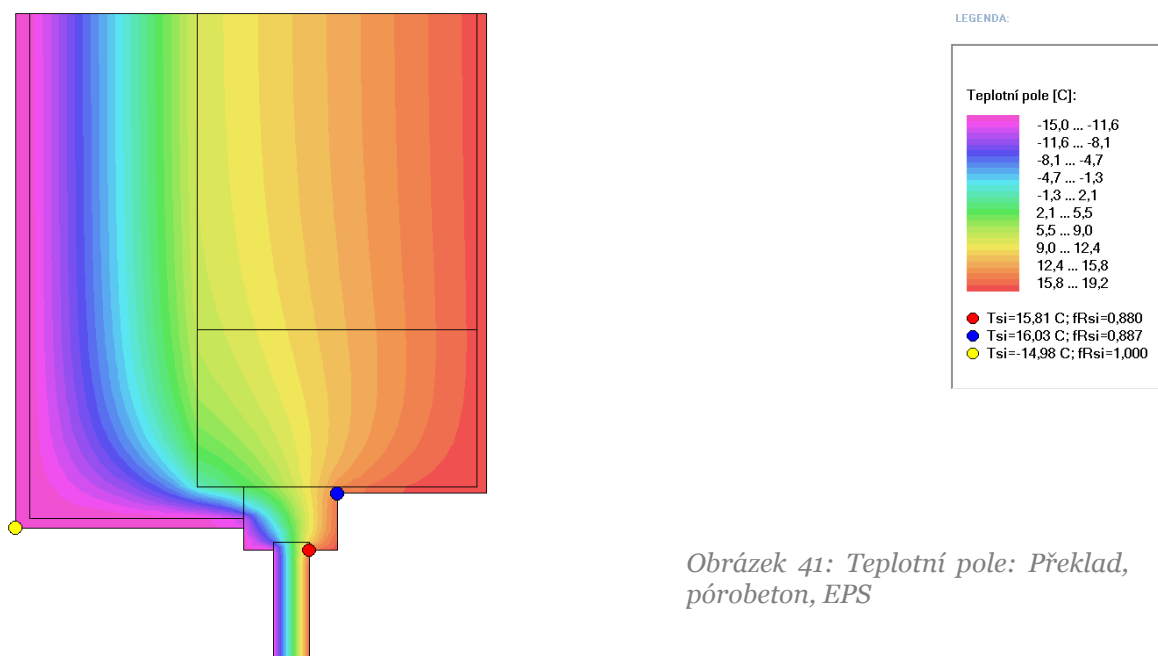
Konstrukce splňuje požadavek na minimální hodnotu teplotního faktoru.

Pole vlhkostí opět velmi přijatelné.

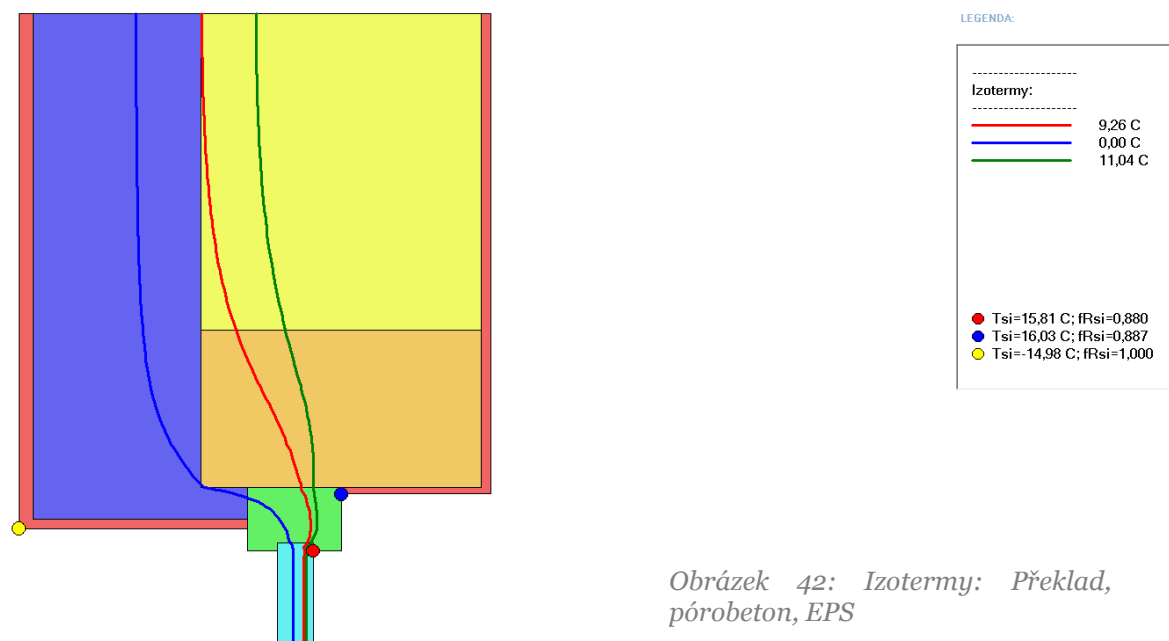


## Pórobeton + EPS

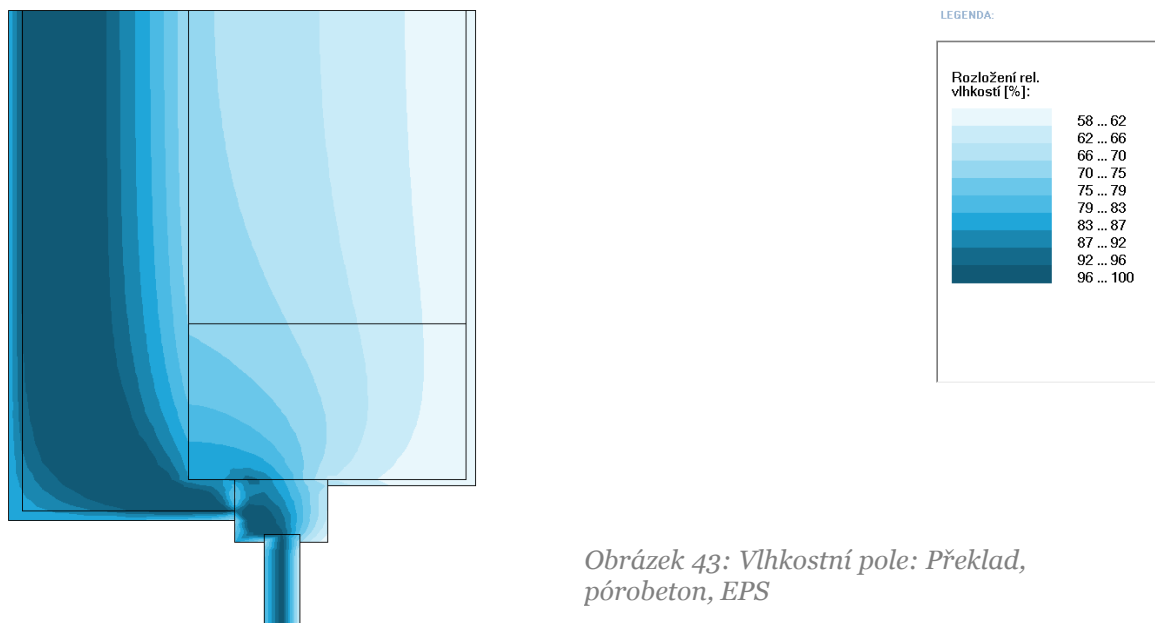
Pro lepší porovnání vlastností pórobetonu byla tloušťka EPS ponechána na stejné hodnotě jako při zateplení keramického zdiva, a to 180 mm.



Obrázek 41: Teplotní pole: Překlad, pórobeton, EPS



Obrázek 42: Izotermy: Překlad, pórobeton, EPS



Na obrázku teplotního pole je vidět, že pórobeton má lepší tepelně izolační vlastnosti než keramické zdivo. Nižší povrchové teploty na kontaktu s rámem okna bylo dosaženo pouze z důvodu přítomnosti EPS v překladu keramické stěny. Povrchová teplota na zdi je u pórobetonu vyšší.

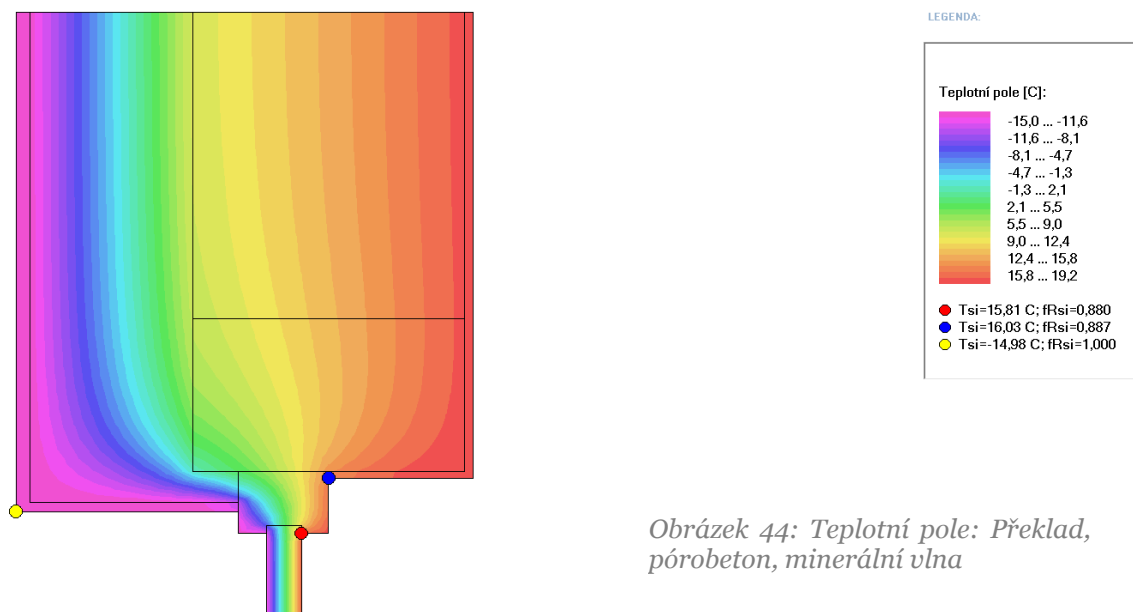
Průběh izoterem je ovlivněn vlhkostí přítomnou ve zdivu.

Konstrukce splňuje požadavek na minimální hodnotu teplotního faktoru.

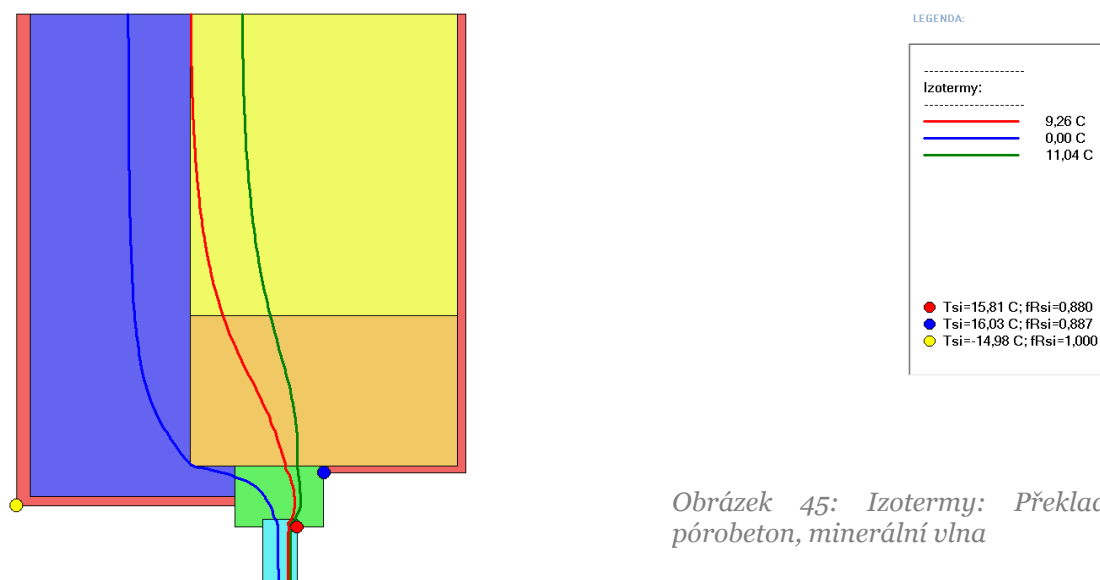
Jelikož je pórobeton nasákavějším materiálem než keramika, dosahuje vyšších procentuálních hodnot přítomnosti vodních par.

## Pórobeton + minerální vlna

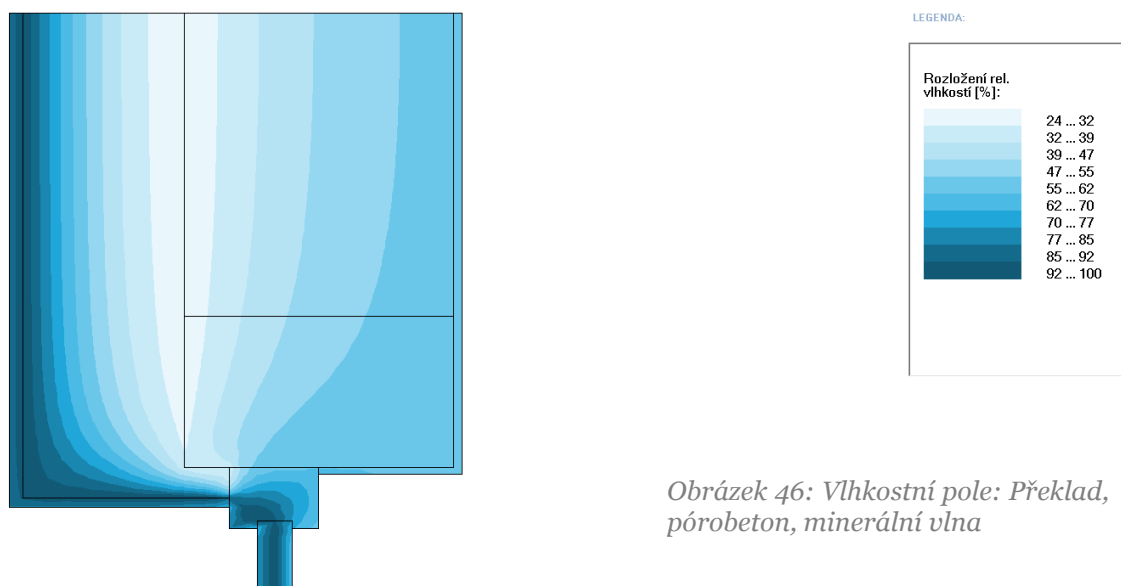
Také desky z minerální vlny zůstávají pro lepší porovnání vlastností materiálů na tloušťce 180 mm.



Obrázek 44: Teplotní pole: Překlad, pórobeton, minerální vlna



Obrázek 45: Izotermy: Překlad, pórobeton, minerální vlna

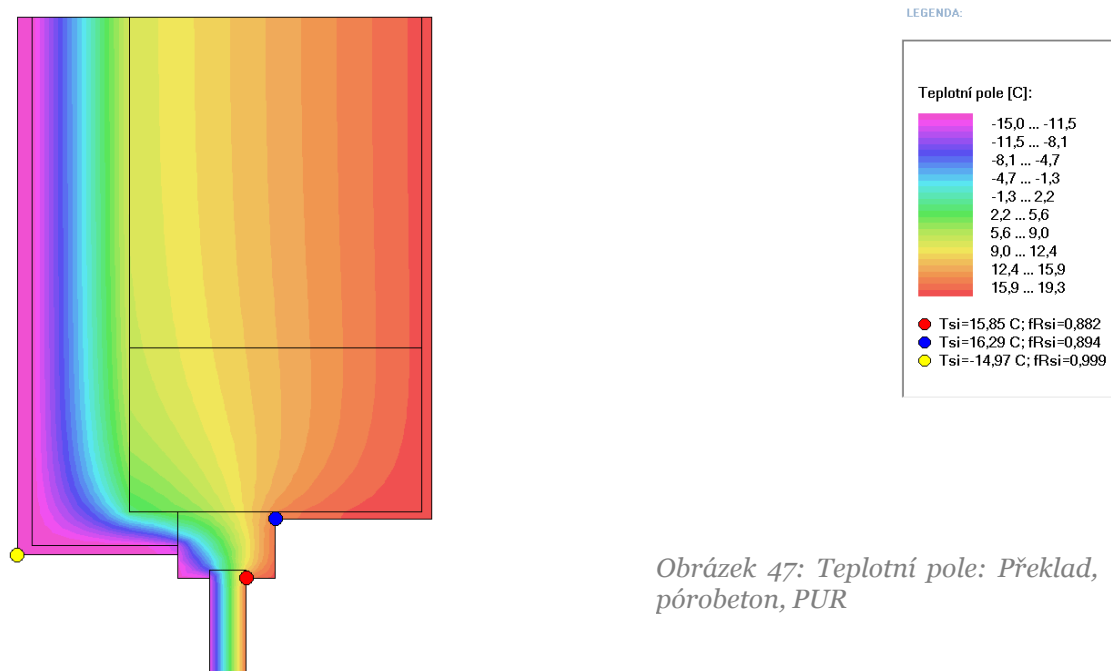


Teplotní pole a izotermy opět na velmi podobných hodnotách jako při zateplení EPS.

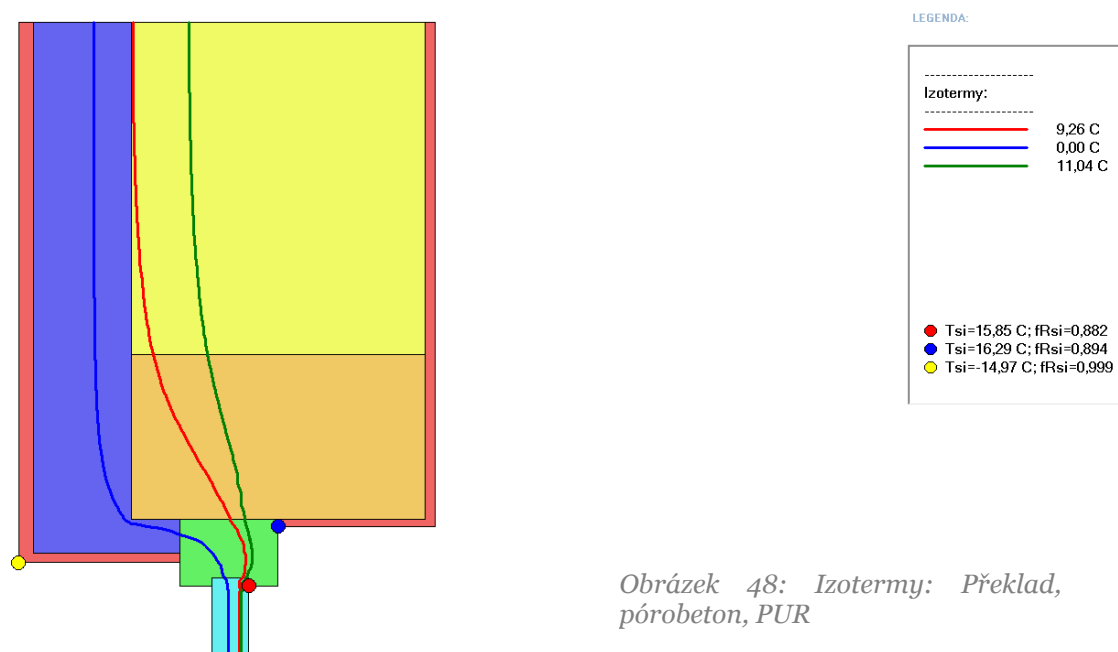
Z vlhkostního pole je opět vidět, že hodnoty vlhkosti v konstrukci jsou nižší než při použití polystyrenu.

## Pórobeton + PUR desky

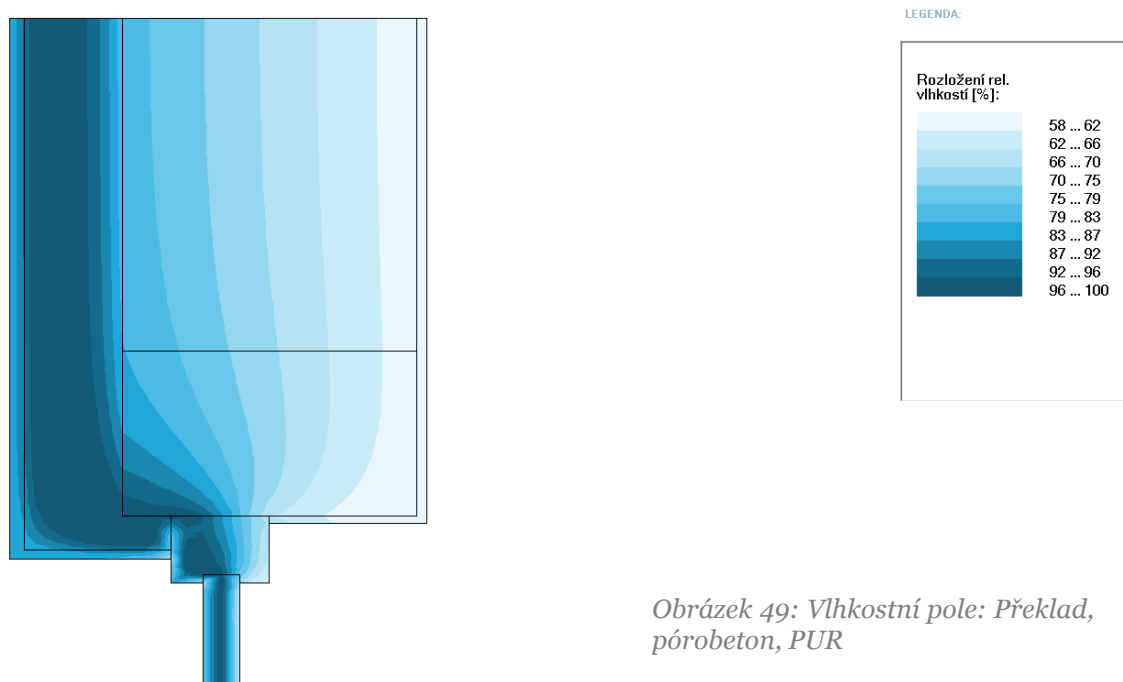
I zateplení konstrukce z PUR desek zůstává na nezměněné hodnotě, budu tedy porovnávat Ytong překlád se 100mm zateplením.



Obrázek 47: Teplotní pole: Překlad, pórobeton, PUR



Obrázek 48: Izotermy: Překlad, pórobeton, PUR



Obrázek 49: Vlhkostní pole: Překlad, pórobeton, PUR

Z teplotního pole lze opět vyčíst zlepšení tepelných vlastností oproti konstrukci bez zateplení. Stejně tak lze najít podobnost mezi zateplením EPS a PUR, zatímco polyuretanovým deskám stačí téměř polovina tloušťky.

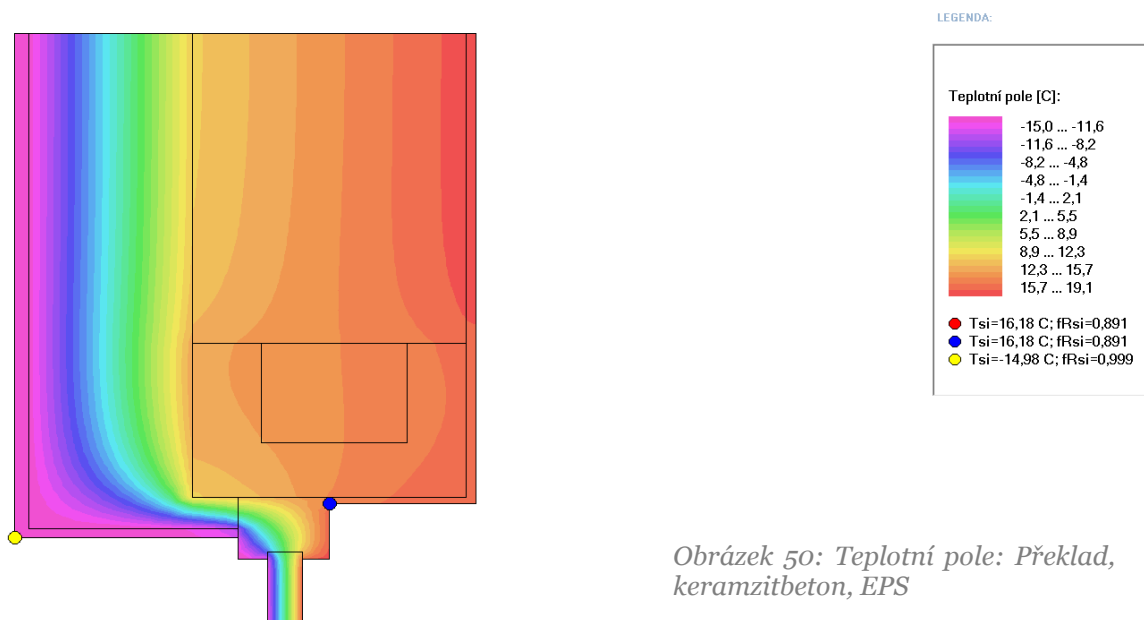
K promrzání dochází opět pouze v izolantu.

Konstrukce splňuje požadavek na minimální hodnotu teplotního faktoru.

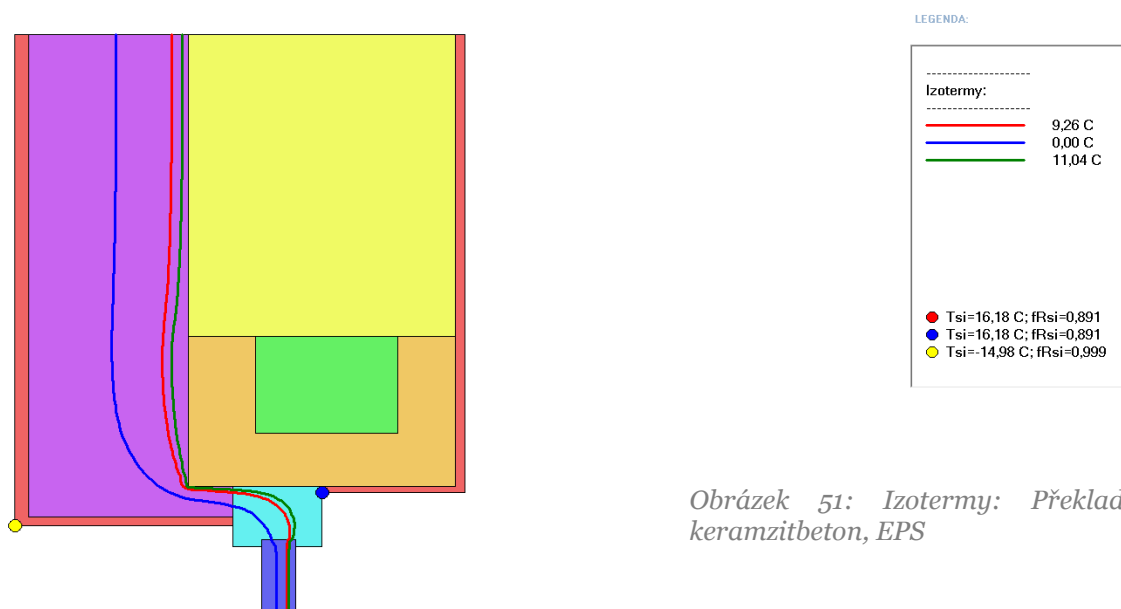
Přítomnost vodních par v konstrukci na podobné úrovni jako při zateplení polystyrenem.

## Keramzitbetonové zdivo + EPS

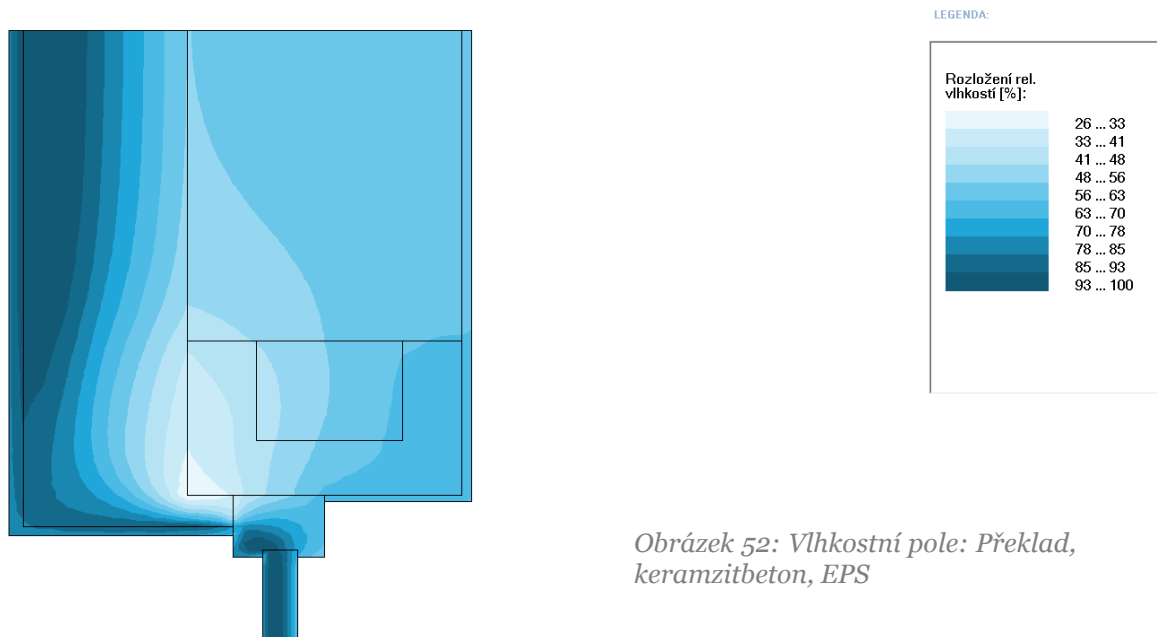
Díky tomu, že tvarovky z keramzitbetonu mají podobnou tepelnou vodivost jako tvárnice keramické, i zde je použit EPS tloušťky 180 mm.



Obrázek 50: Teplotní pole: Překlad, keramzitbeton, EPS



Obrázek 51: Izotermy: Překlad, keramzitbeton, EPS



*Obrázek 52: Vlhkostní pole: Překlad, keramzitbeton, EPS*

Na obrázku teplotního pole je stále vidět, že překlad je daleko vodivější než zdivo, proto na něm bude nižší povrchová teplota. Nicméně díky zateplení už je konstrukce vyhovující.

Díky vlastnostem materiálu procházejí důležité teplotní izotermy izolantem.

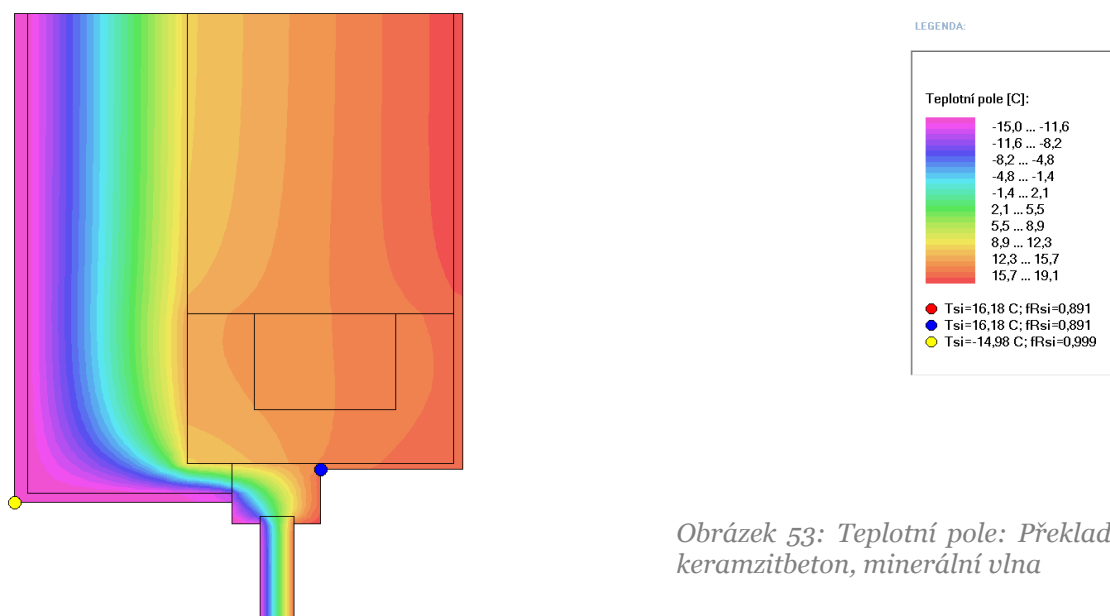
Konstrukce splňuje požadavek na minimální hodnotu teplotního faktoru.

Vysoké hodnoty vlhkosti jsou díky nízké teplotě pouze na venkovní straně izolantu.

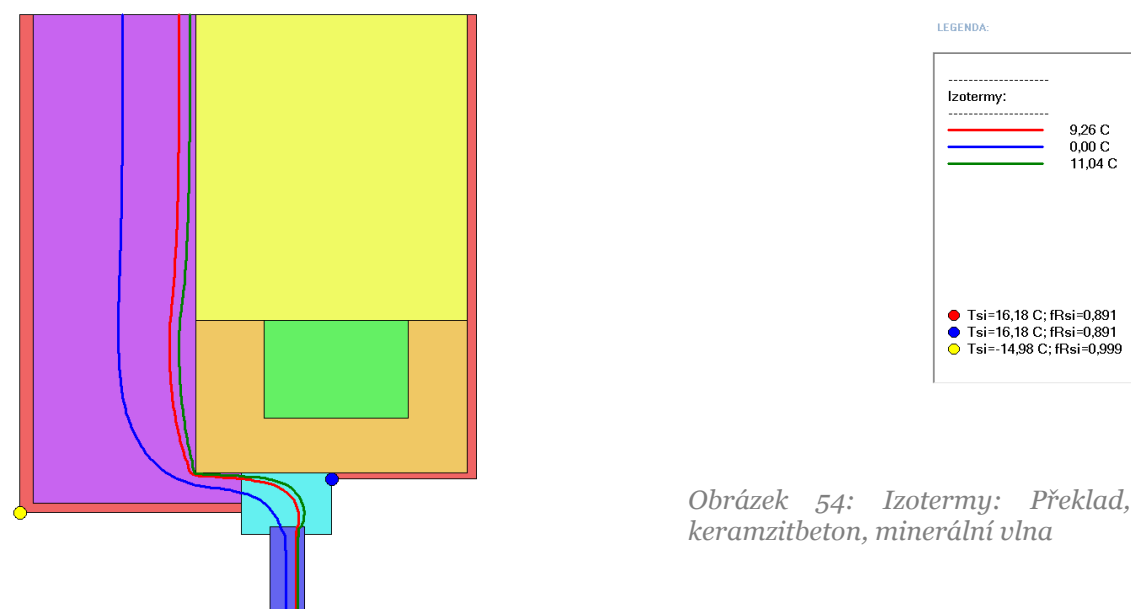


## Keramzitbetonové zdivo + minerální vlna

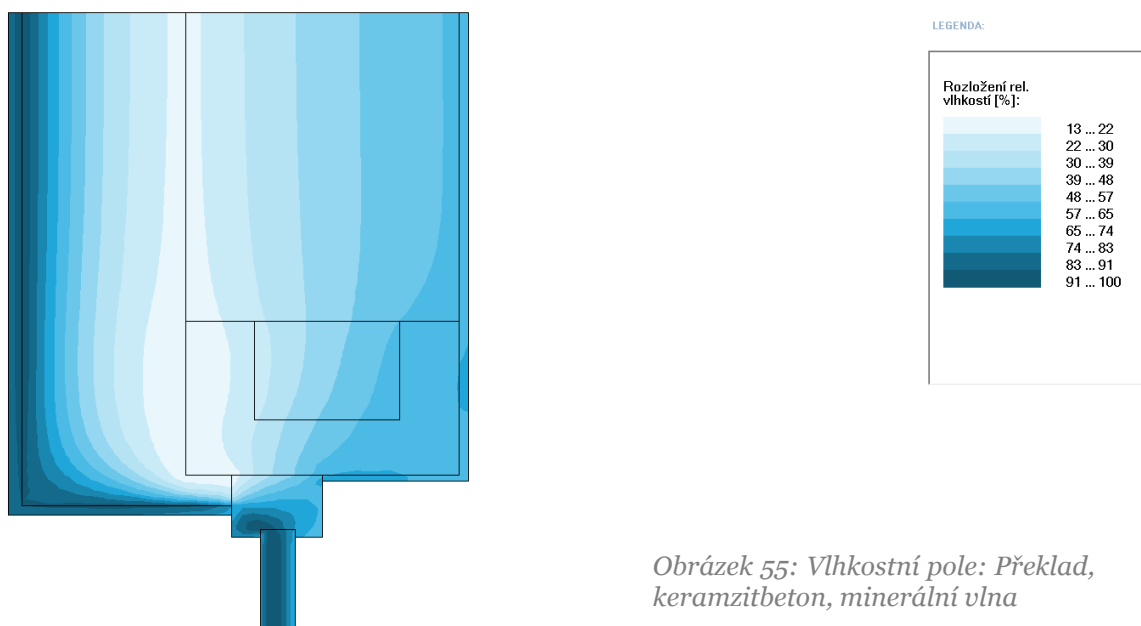
Stejná tloušťka zateplení z minerální plsti, tedy 180 mm, zůstává i pro případ se zdivem z keramzitbetonu.



Obrázek 53: Teplotní pole: Překlad, keramzitbeton, minerální vlna



Obrázek 54: Izotermie: Překlad, keramzitbeton, minerální vlna



Obrázek 55: Vlhkostní pole: Překlad, keramzitbeton, minerální vlna

I zde je teplotní pole téměř totožné díky velmi podobné tepelné vodivosti minerální vlny a polystyrenu.

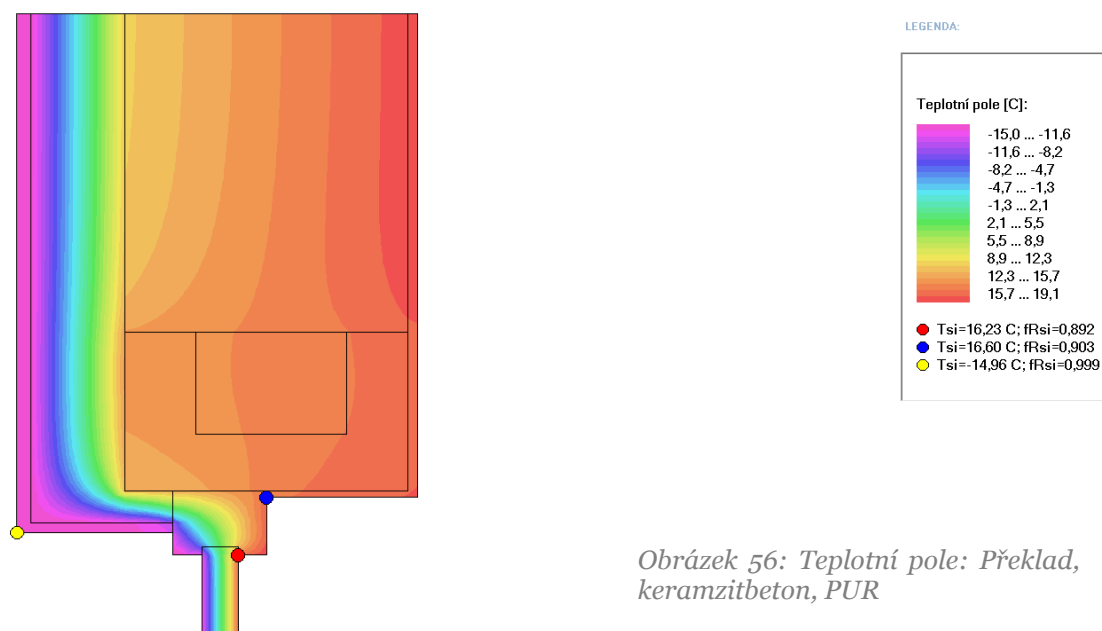
Průběh důležitých izoterem opět pouze v izolantu.

Konstrukce splňuje požadavek na minimální hodnotu teplotního faktoru.

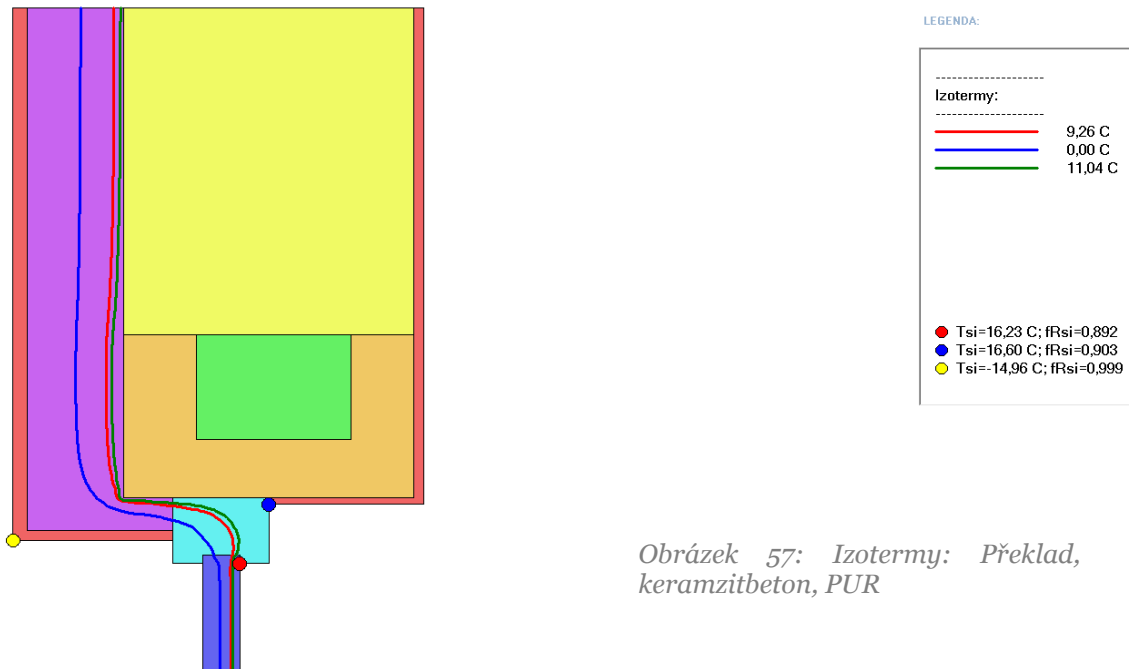
Množství vlhkosti v konstrukci na velmi dobrých hodnotách.

## Keramzitbetonové zdivo + PUR desky

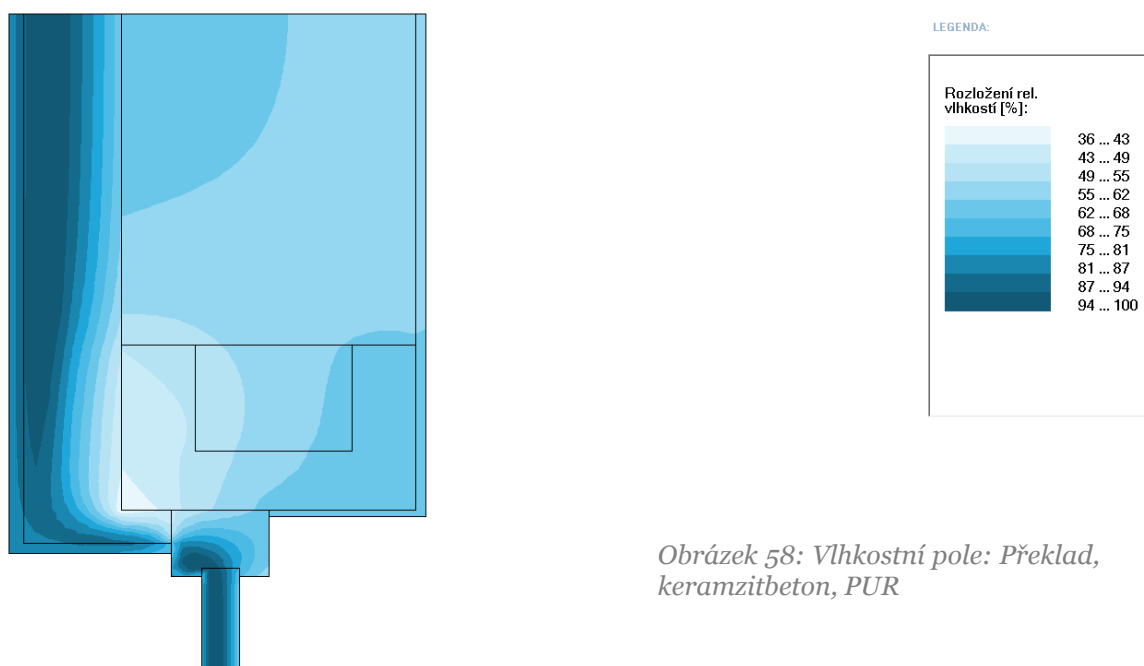
PUR desky taktéž zůstávají na nezměněné tloušťce 100 mm.



Obrázek 56: Teplotní pole: Překlad, keramzitbeton, PUR



Obrázek 57: Izotermy: Překlad, keramzitbeton, PUR



Obrázek 58: Vlhkostní pole: Překlad, keramzitbeton, PUR

Teplotní pole opět ukazuje poměrně velkou vodivost především překladu a obrovskou izolační schopnost PUR desky.

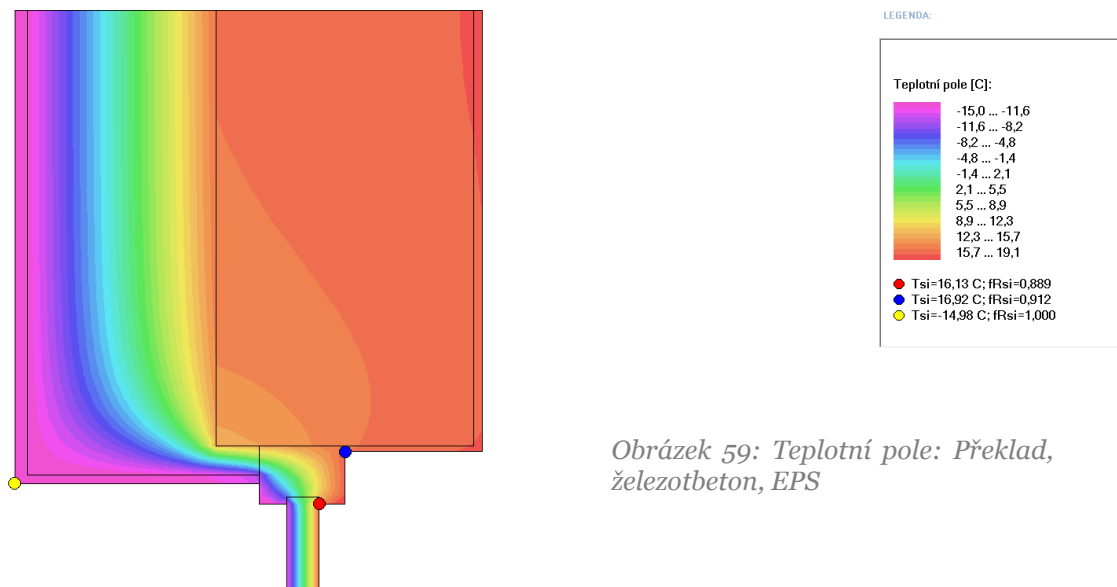
K promrzání dochází opět pouze v izolantu.

Konstrukce splňuje požadavek na minimální hodnotu teplotního faktoru.

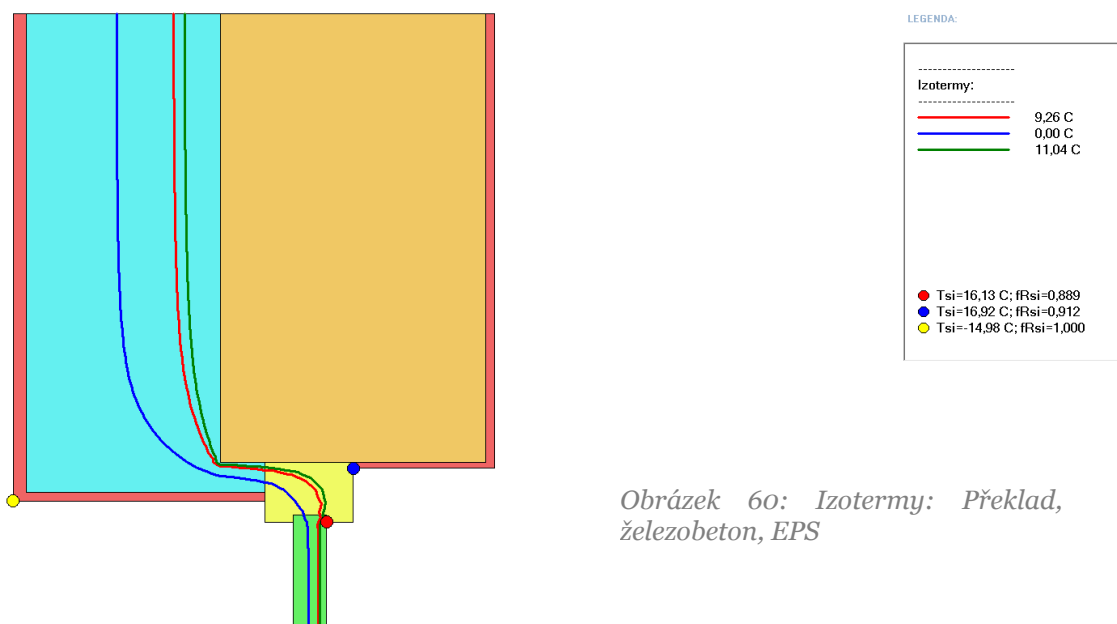
Vlhkostní pole velmi podobné jako při zateplení polystyrenem.

## Železobeton + EPS

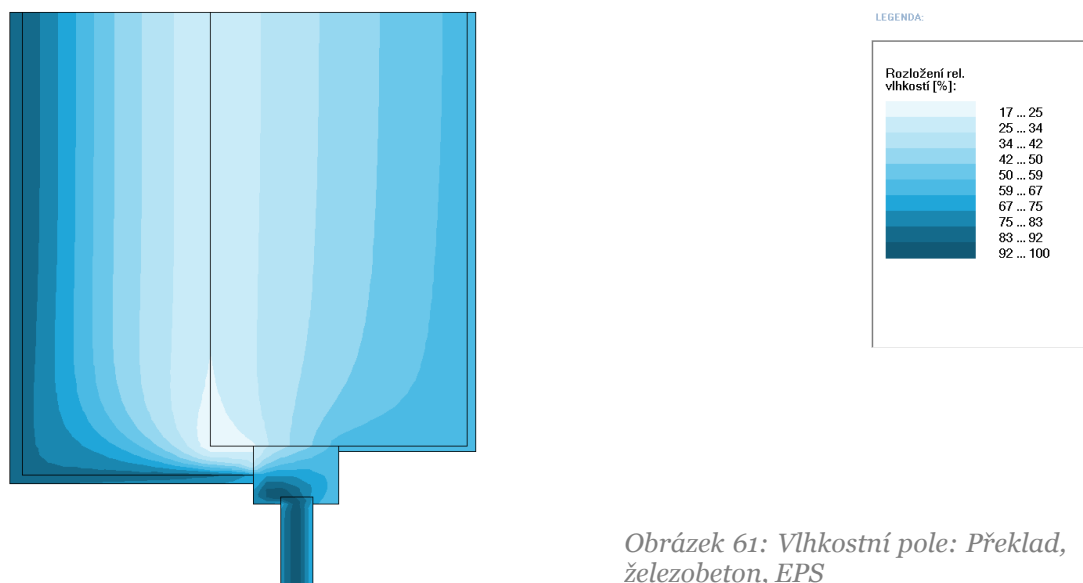
Jelikož je železobeton poměrně vodivý materiál, bylo nutné přidat 220 mm expandovaného polystyrenu, aby součinitel prostupu tepla vyhověl normové hodnotě.



Obrázek 59: Teplotní pole: Překlad, železobeton, EPS



Obrázek 60: Izotermie: Překlad, železobeton, EPS



Obrázek 61: Vlhkostní pole: Překlad, železobeton, EPS

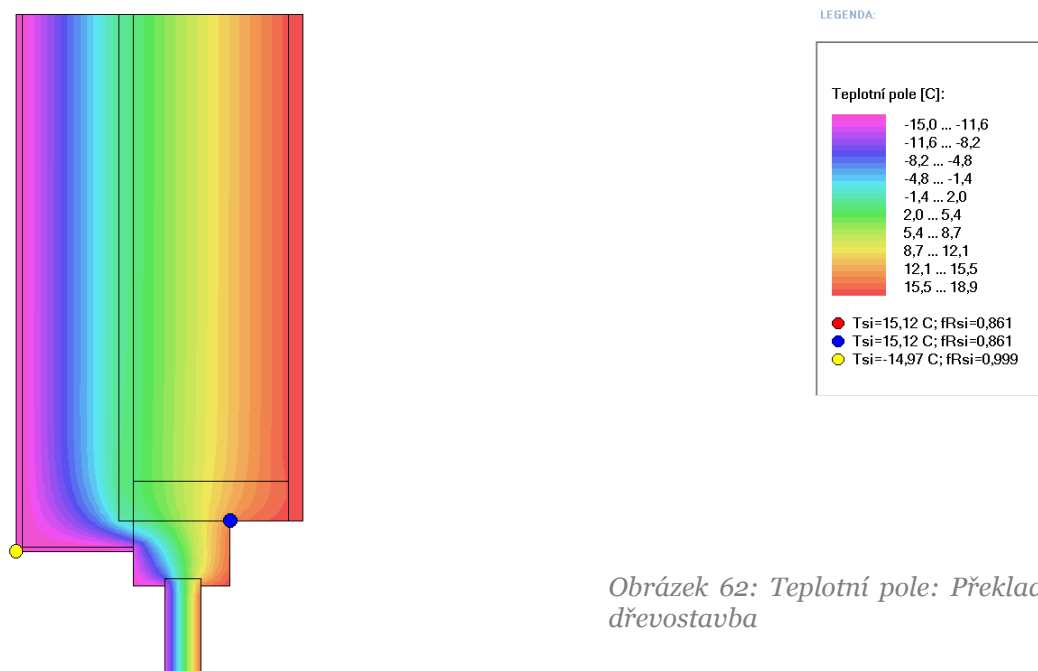
Už jen podle teplot vystupuje v tomto hodnocení železový beton jako odstrašující případ. V kombinaci s tímto velmi pevným materiálem musí být opravdu velké množství tepelně izolačního materiálu. Jedinou možností jsou proto polystyrenové tvarovky ve formě ztraceného bednění, do kterých se beton při realizaci běžného domku může použít.

Kvůli nutnosti použít opravdu velké množství tepelného izolantu procházejí důležité teplotní izotermy právě pouze zateplením.

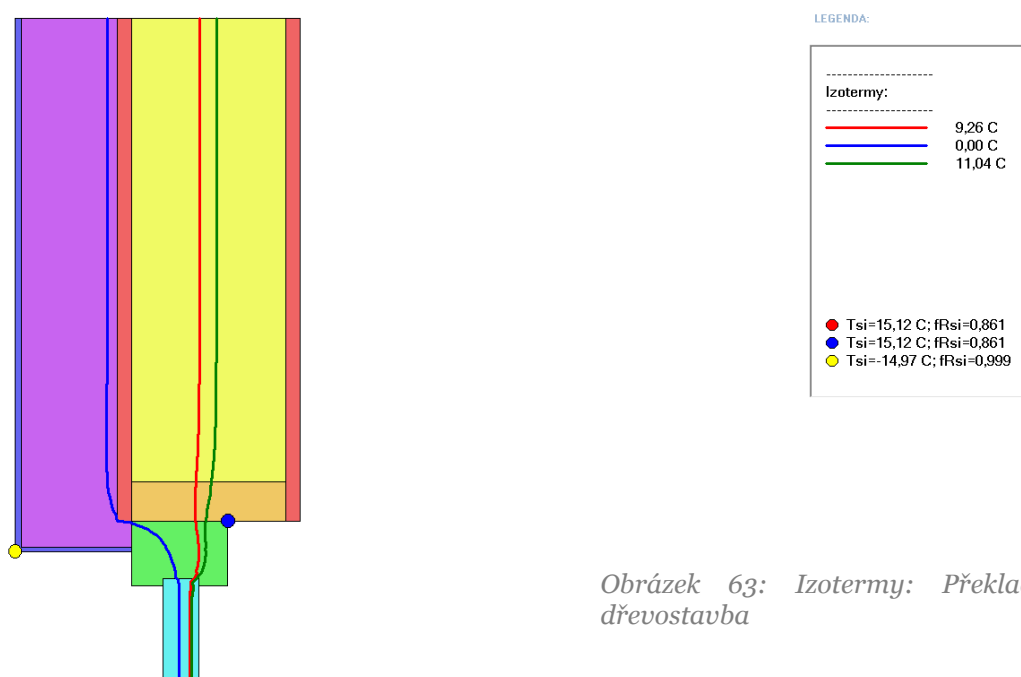
Obdobných výsledků železobetonová konstrukce dosáhla i při použití 220 mm minerální vlny, nebo 120mm polyuretanových desek.

## Dřevostavba

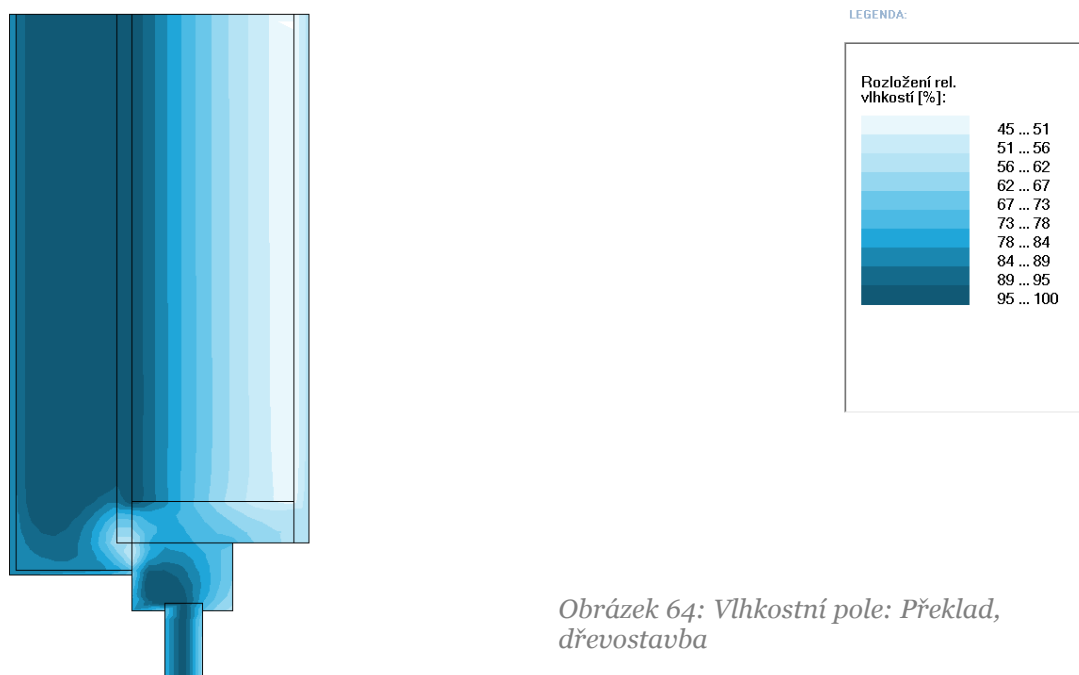
Pro porovnání vlastností jsem zvolil reálný konstrukční systém montovaných dřevostaveb, které využívají jako nosnou část konstrukce smrkové trámky o rozměrech 60 x 120 a 60 x 40 mm, mezi kterými je umístěna parotěsnící fólie. Osová vzdálenost nosných trámků je 600 mm. Mezi nimi jsou desky z minerální vlny. O opláštění se starají dvě sádrovláknité desky. V exteriéru je konstrukce doplněna o 100 mm tepelné izolace ve formě grafitového EPS. V nosné konstrukci je započítán vliv liniových tepelných mostů.



Obrázek 62: Teplotní pole: Překlad, dřevostavba



Obrázek 63: Izotermy: Překlad, dřevostavba



Obrázek 64: Vlhkostní pole: Překlad, dřevostavba

Teplotní pole u dřevostavby ukazuje téměř rovnoměrný prostup tepla celou tloušťkou konstrukce. Je to dáno především přítomností minerální vlny mezi dřevěnými trámky. U tohoto konstrukčního systému jsou tepelné mosty velmi dobře eliminovány.

Vyšší vlhkost se vyskytuje především u zateplení na straně exteriéru.



#### **4.4 Sokl**

V této části se podívám na teplotní a vlhkostní pole zděných konstrukcí obdobně jako u překladů. Půjde o nepodsklepený objekt, založený do nezámrzné hloubky. Teplota zeminy byla pro zjednodušení nestacionárního pole zvolena 5 °C v hloubce 1,3 m. V této situaci nedochází k promrzání základové spáry. Základy jsou tvořeny železobetonovým pásem a ztraceným bedněním. Zateplení spodní části stavby 60 mm extrudovaného polystyrenu.

##### **4.4.1 Bez dodatečného zateplení**

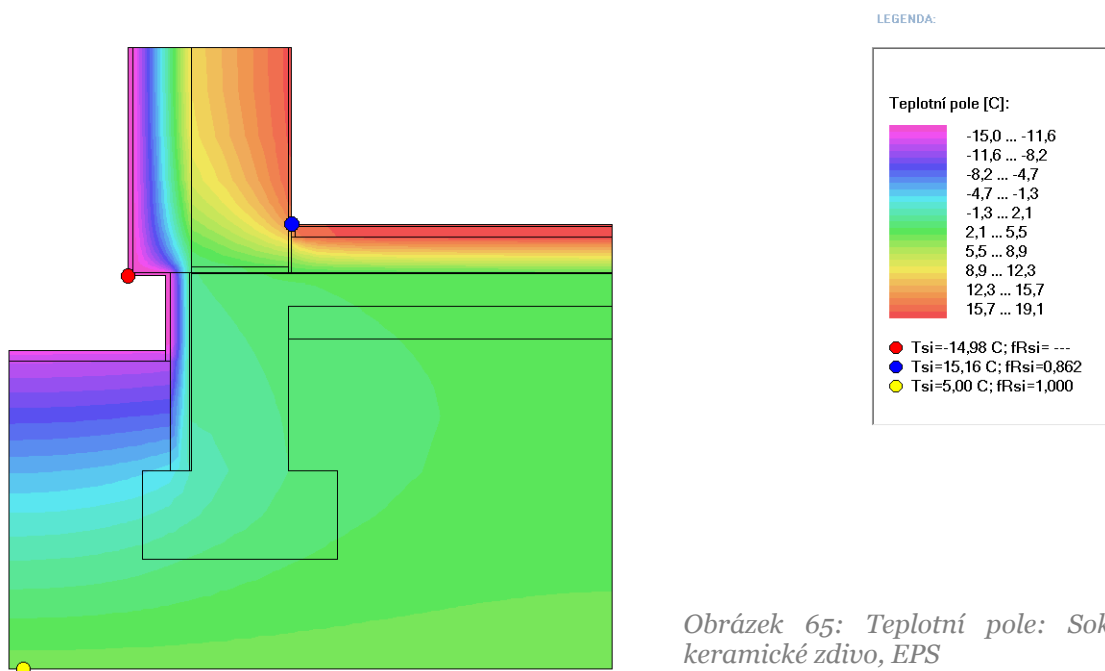
K dostatečnému porovnání vlastností zdiva bez zateplení posloužila varianta s překladem, proto se nyní podívám pouze na již zateplené varianty konstrukcí.

##### **4.4.2 S dodatečným zateplením**

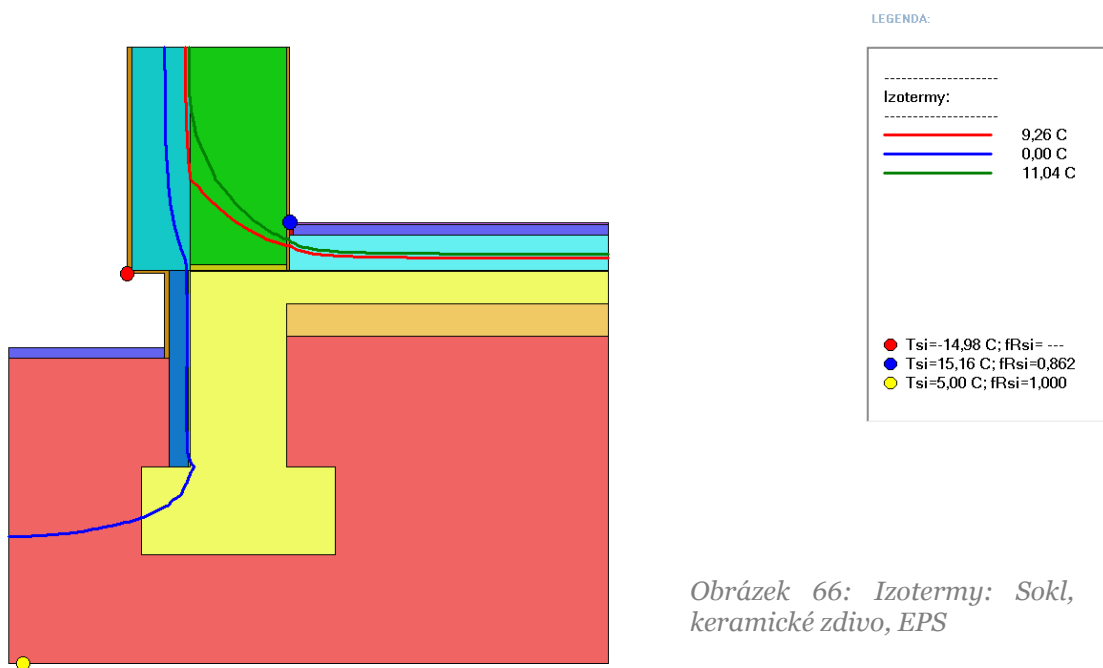
Konstrukce včetně zateplení zůstávají shodné jako u variant s překladem. Na základové desce je hydroizolace proti vztlínající vlhkosti ve formě asfaltového pásu. Zdivo je zasazeno do maltového lože 24 mm. Pro skladbu podlahy jsem zvolil 160 mm EPS, 50 mm cementový potěr a jako nášlapnou vrstvu keramickou dlažbu.

## Keramické zdivo + EPS

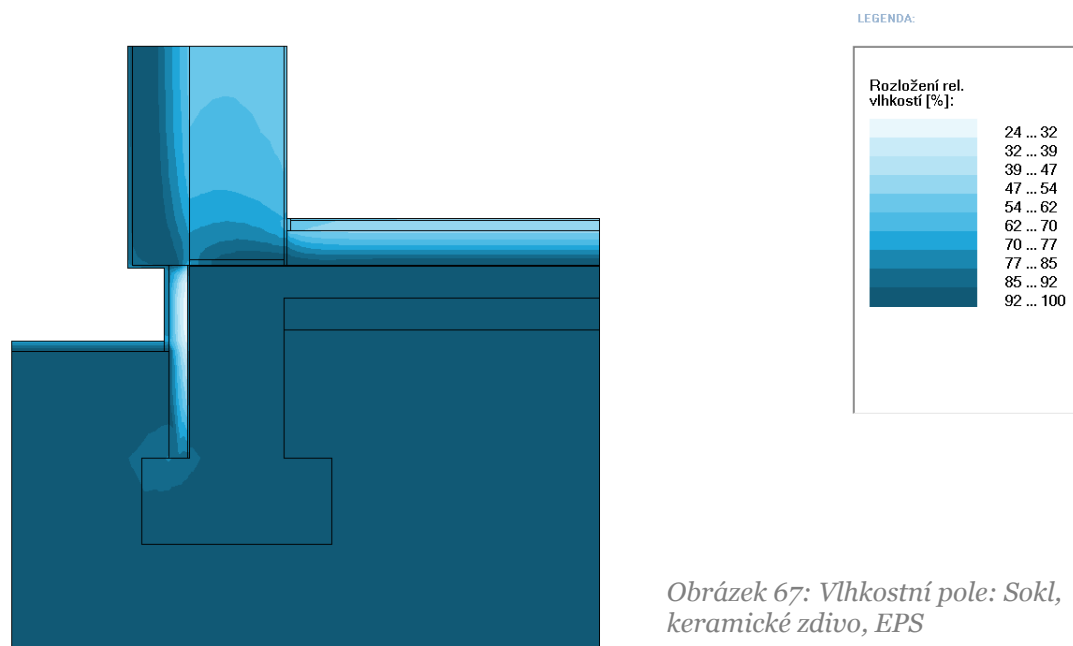
Tloušťka EPS činí 180 mm.



Obrázek 65: Teplotní pole: Sokl, keramické zdivo, EPS



Obrázek 66: Izotermy: Sokl, keramické zdivo, EPS



Obrázek 67: Vlhkostní pole: Sokl, keramické zdivo, EPS

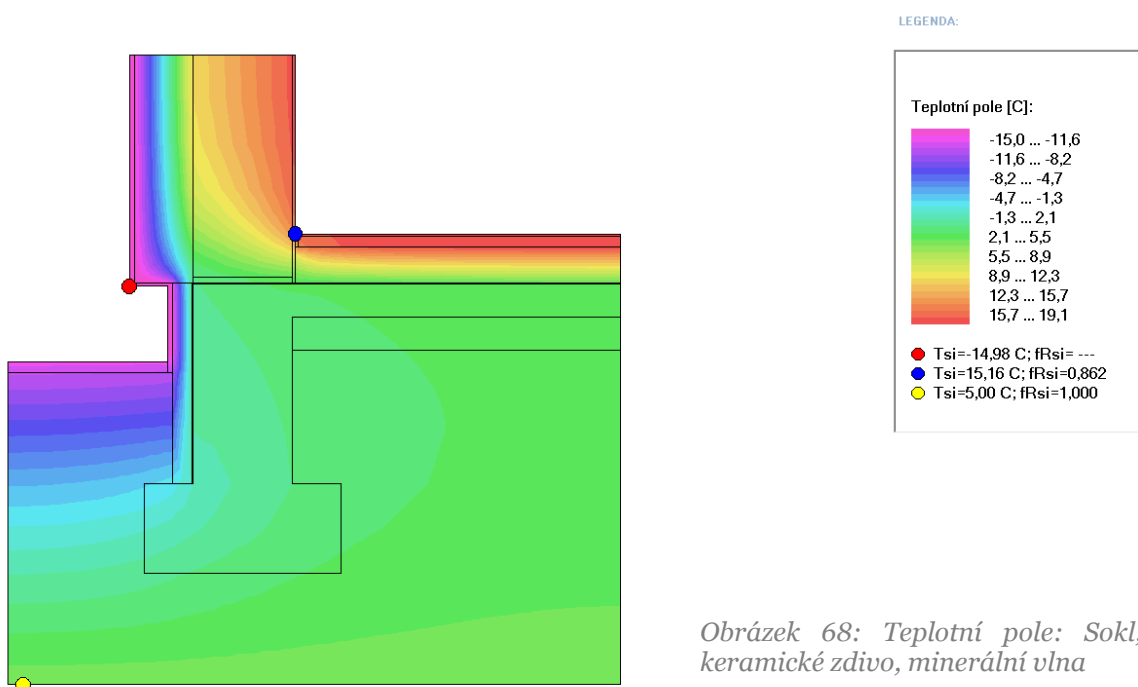
Teplotní pole nám stejně jako u varianty s překladem ukazuje rozdíl v tepelné vodivosti keramického zdiva a EPS.

Izotermy nám říkají, že ke kondenzaci vlhkosti na straně interiéru nedojde.

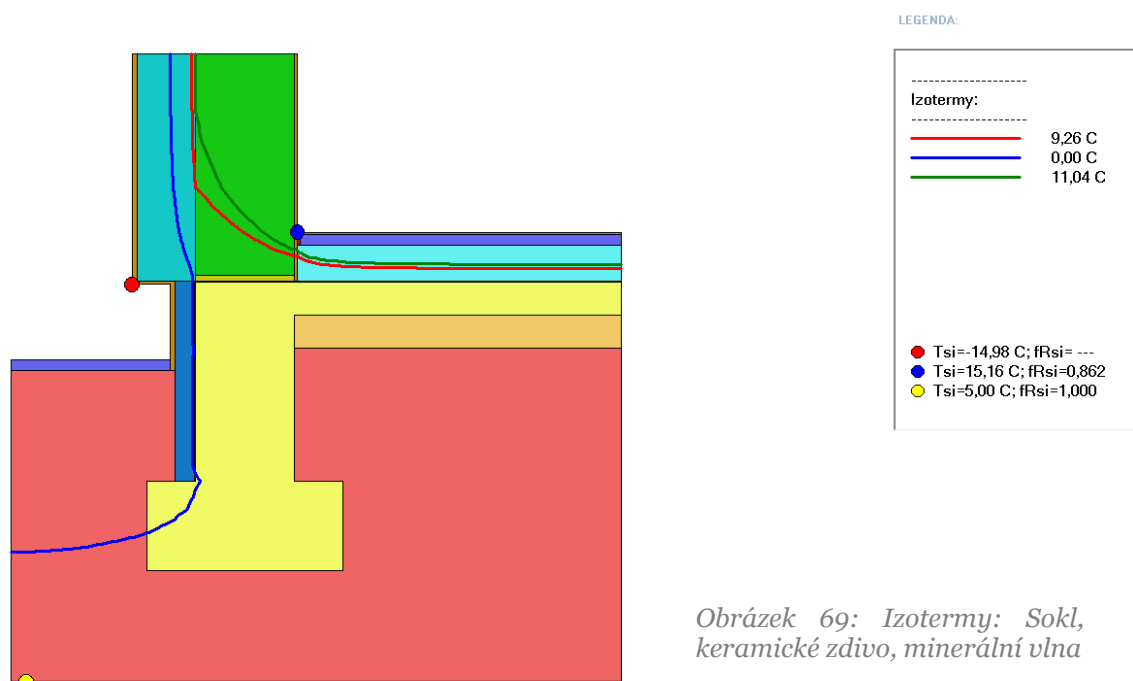
Nepříjemnou záležitostí je pouze vysoká vlhkost v podlaze a v založení zdiva. Tato skutečnost nicméně jde ruku v ruce s relativně nízkou teplotou v zemině, tudíž ji nelze běžným způsobem odstranit.

## Keramické zdivo + minerální vlna

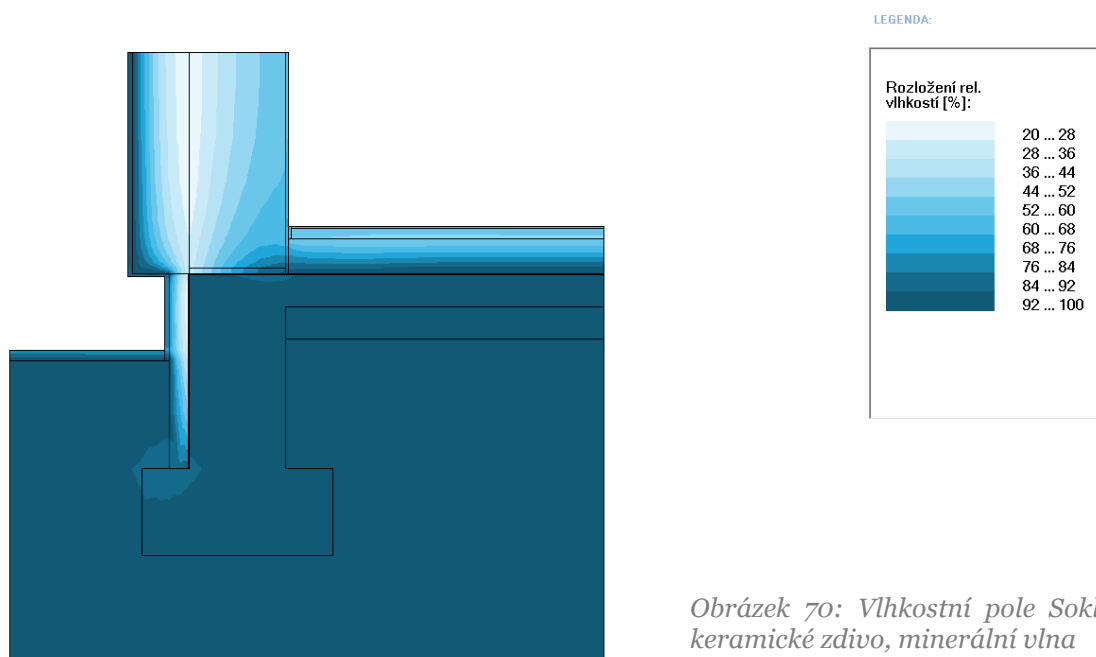
Tloušťka minerální vlny 180 mm.



Obrázek 68: Teplotní pole: Sokl, keramické zdivo, minerální vlna



Obrázek 69: Izotermy: Sokl, keramické zdivo, minerální vlna



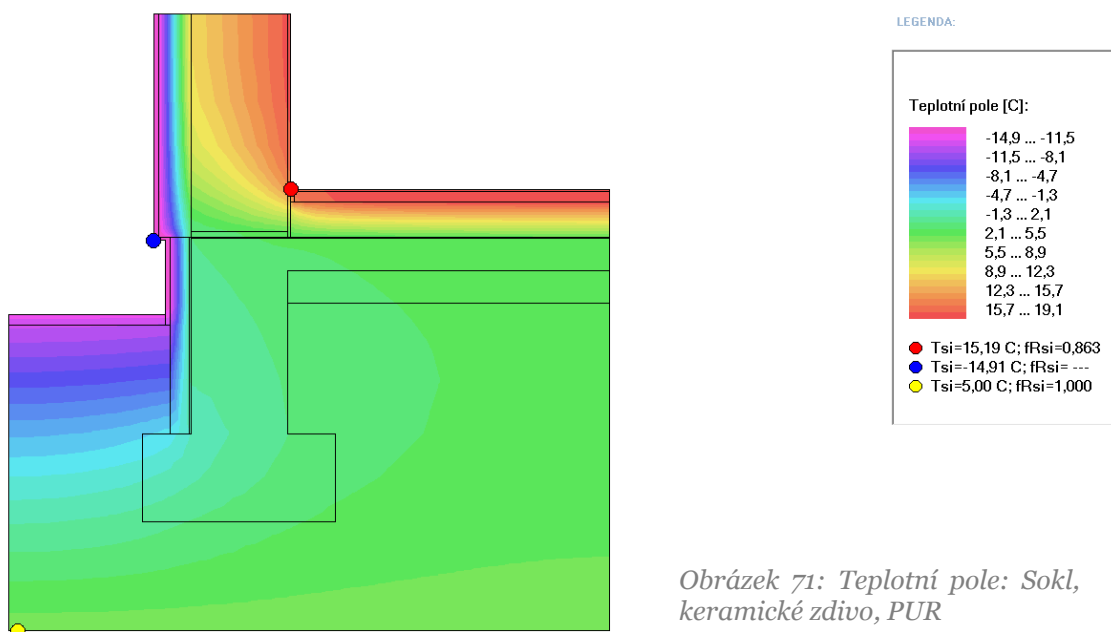
Obrázek 70: Vlhkostní pole Sokl, keramické zdivo, minerální vlna

Jak již bylo zmíněno, vodivostně je na tom minerální vlna téměř shodně s expandovaným polystyrenem. Proto teplotní pole vychází téměř shodně a izotermy velmi podobně.

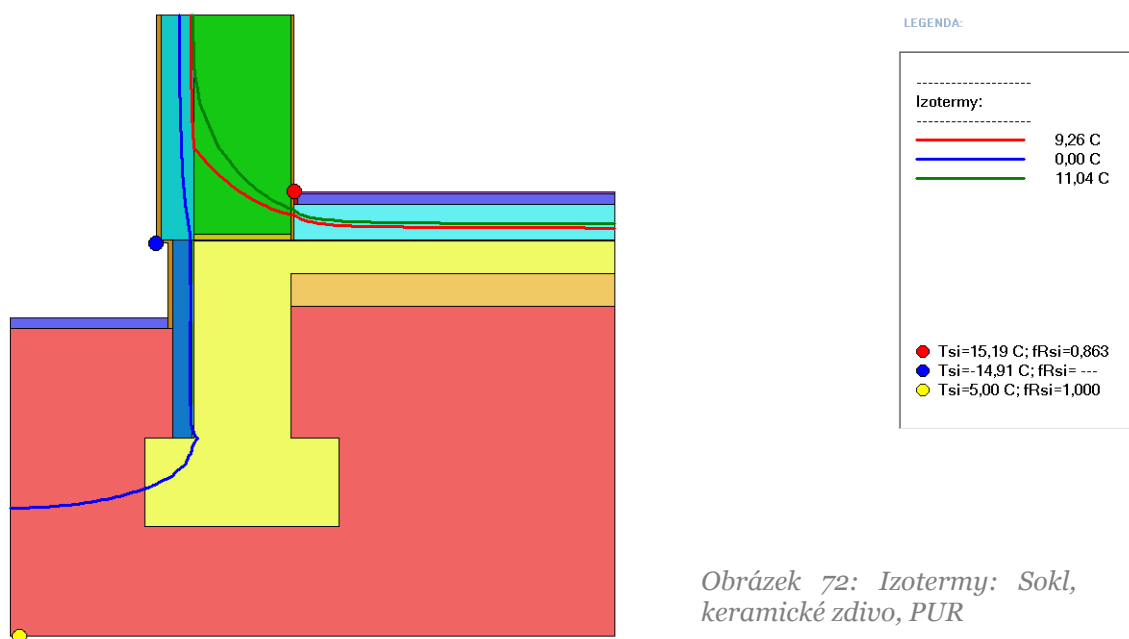
Rozdíl nastane až u relativní vlhkosti konstrukce. Při použití minerální vlny je relativní vlhkost v kontaktu izolantu a zdiva nižší. Na vlhkost v izolantu v podlaze to však vliv nemá.

## Keramické zdivo + PUR desky

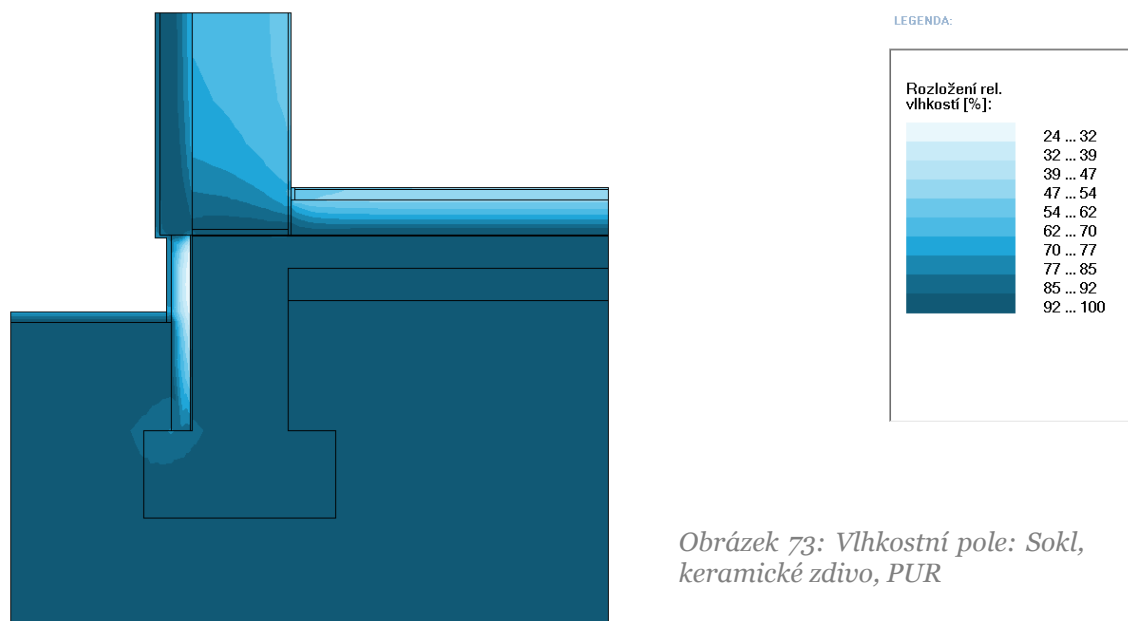
Tloušťka PUR desky 100 mm.



Obrázek 71: Teplotní pole: Sokl, keramické zdivo, PUR



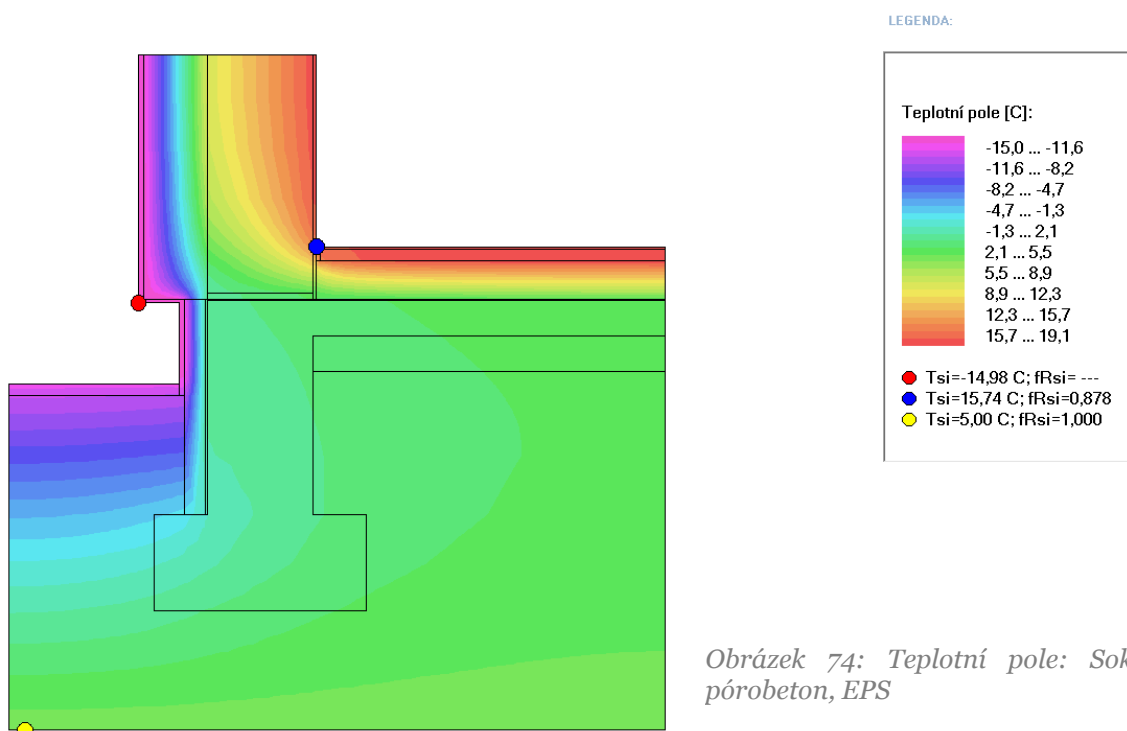
Obrázek 72: Izotermy: Sokl, keramické zdivo, PUR



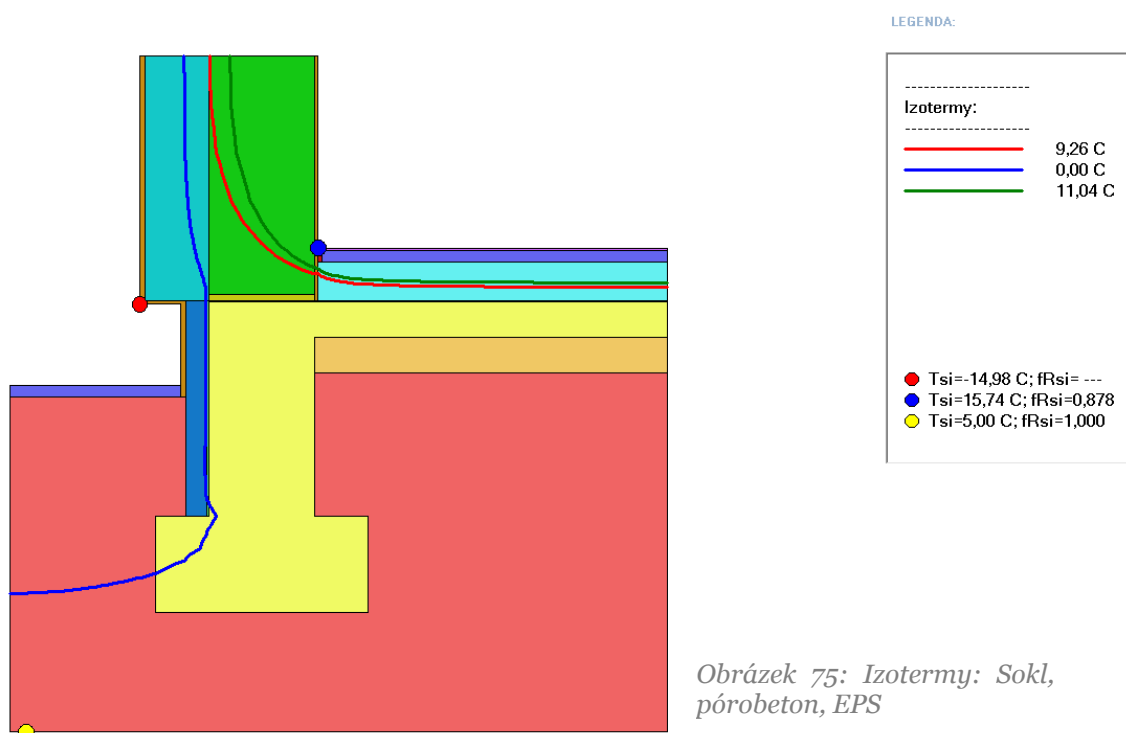
Pole teplot a izotermy opět naznačují velmi příznivé tepelné toky. Nicméně vlhkost v konstrukci je opět poměrně vysoká.

## Pórobeton + EPS

Tloušťka EPS 180 mm.

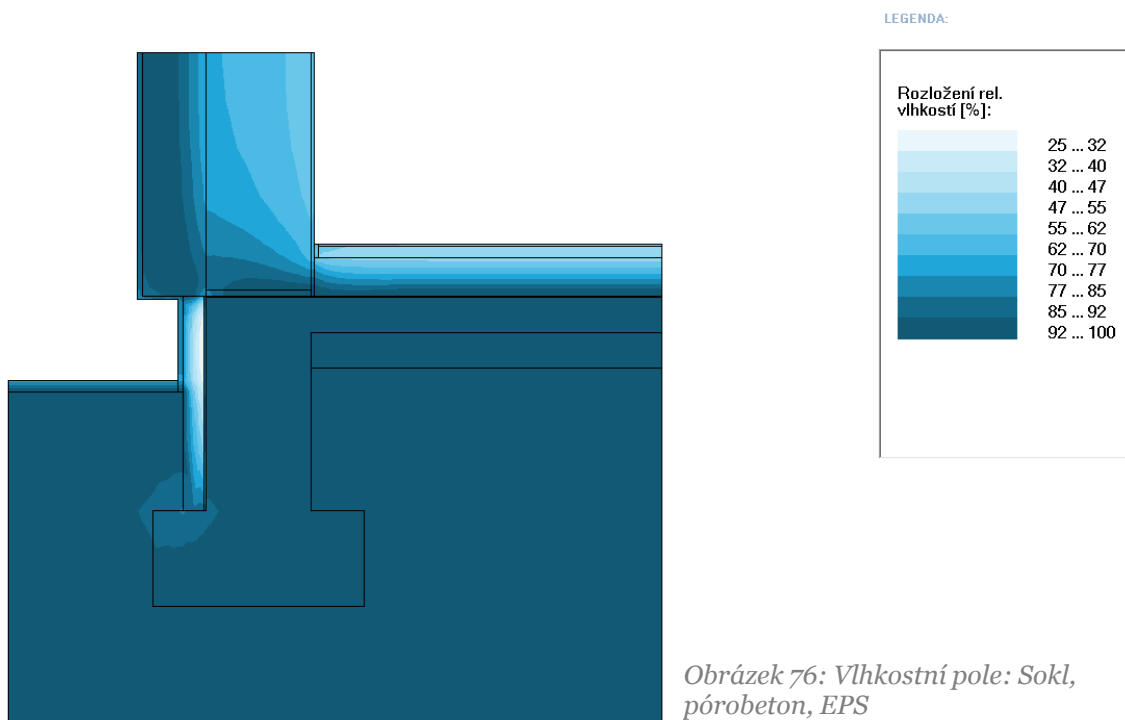


Obrázek 74: Teplotní pole: Sokl, pórobeton, EPS



Obrázek 75: Izotermy: Sokl, pórobeton, EPS



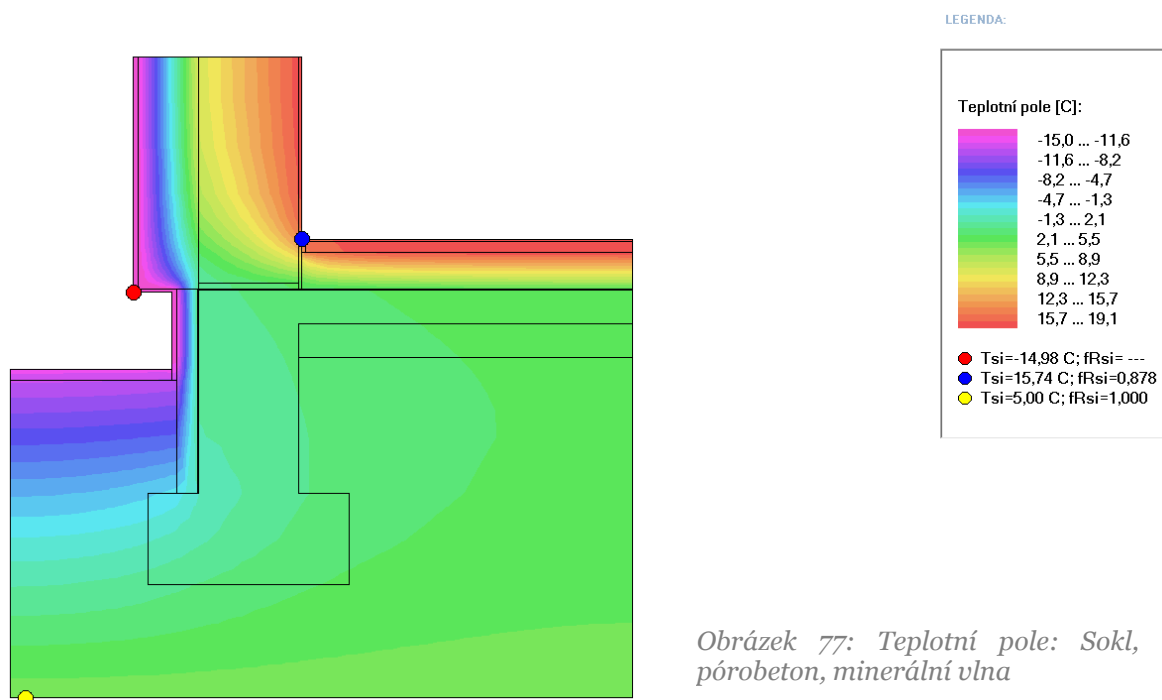


Teplotní pole opět dosahuje pozitivních hodnot. Izotermy ukazují, že k promrzání nosného zdiva nedochází.

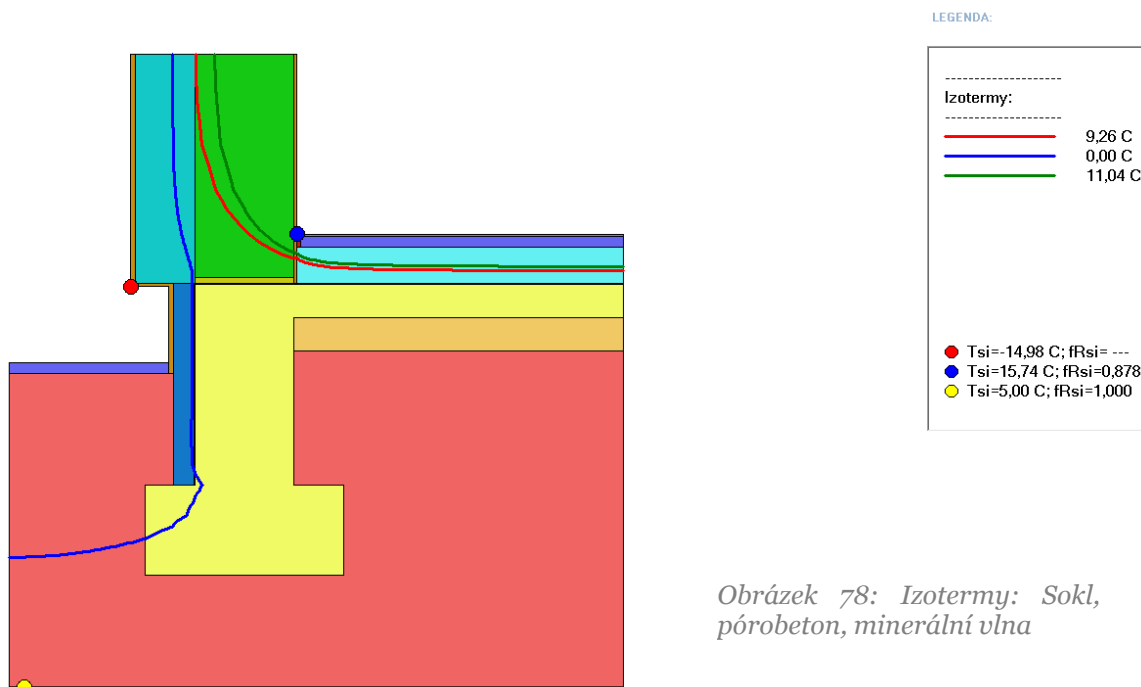
Vlhkost konstrukce je však poměrně vysoká.

## Pórobeton + minerální vlna

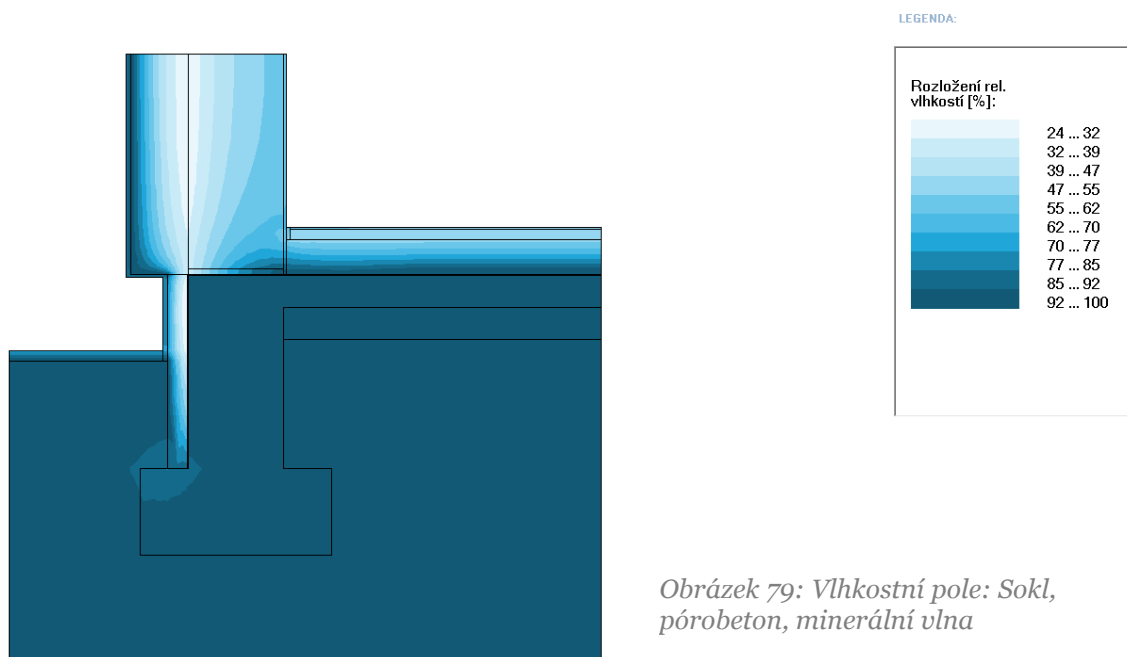
Také desky z minerální vlny o tloušťce 180 mm.



Obrázek 77: Teplotní pole: Sokl, pórobeton, minerální vlna



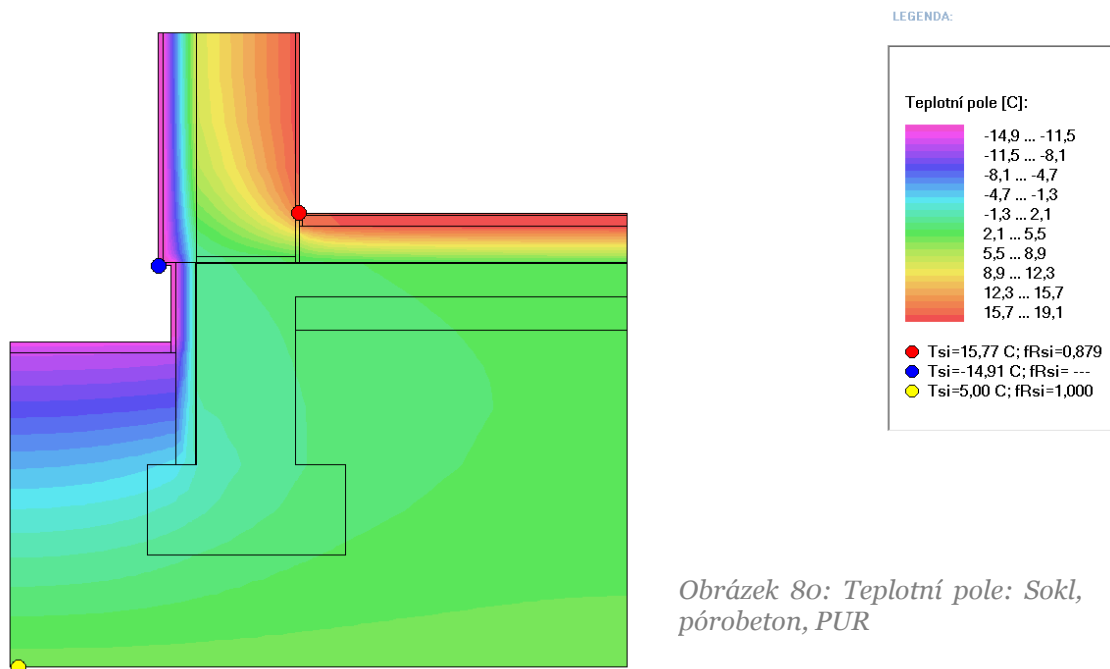
Obrázek 78: Izotermy: Sokl, pórobeton, minerální vlna



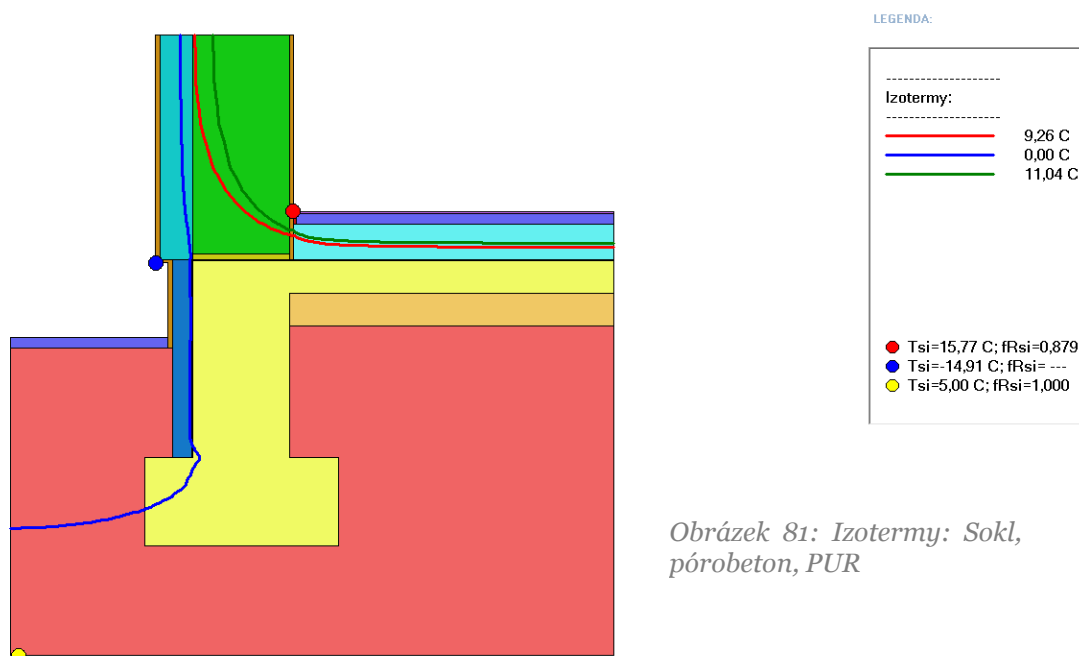
I v tomto případě dochází ke znatelnému snížení vlhkosti na kontaktu zdiva a kontaktního zateplovacího systému. Vlhkost v podlaze z důvodu nízké teploty zůstává. Teploty v konstrukci opět velmi podobné jako u kombinace s EPS.

## Pórobeton + PUR desky

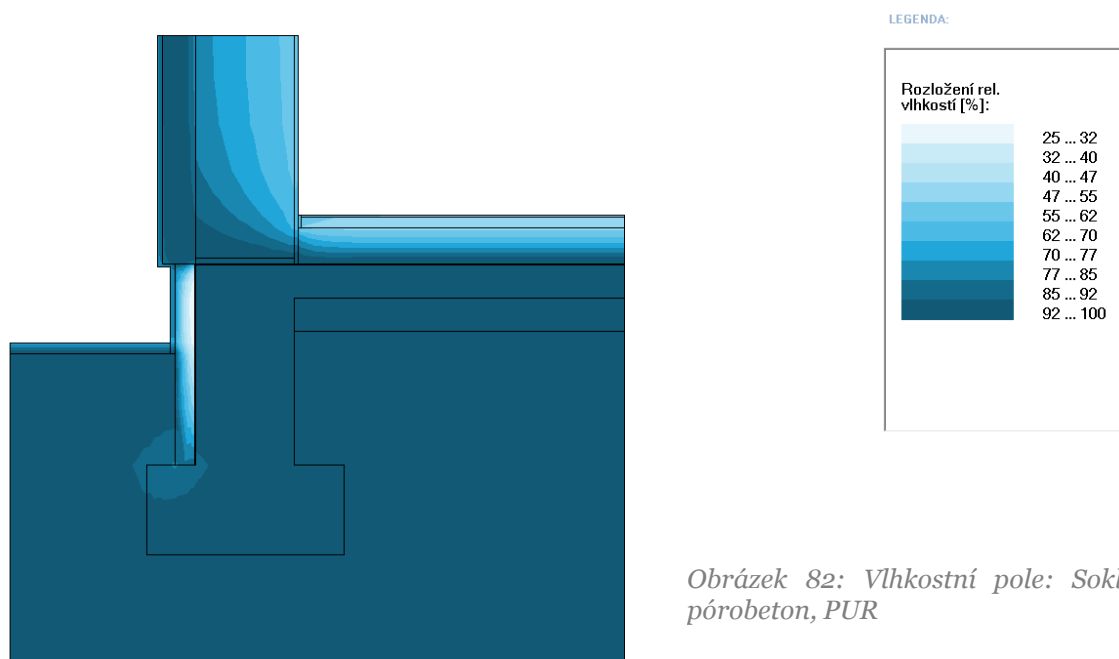
Pórobetonové tvárnice a 100 mm zateplení.



Obrázek 80: Teplotní pole: Sokl, pórobeton, PUR



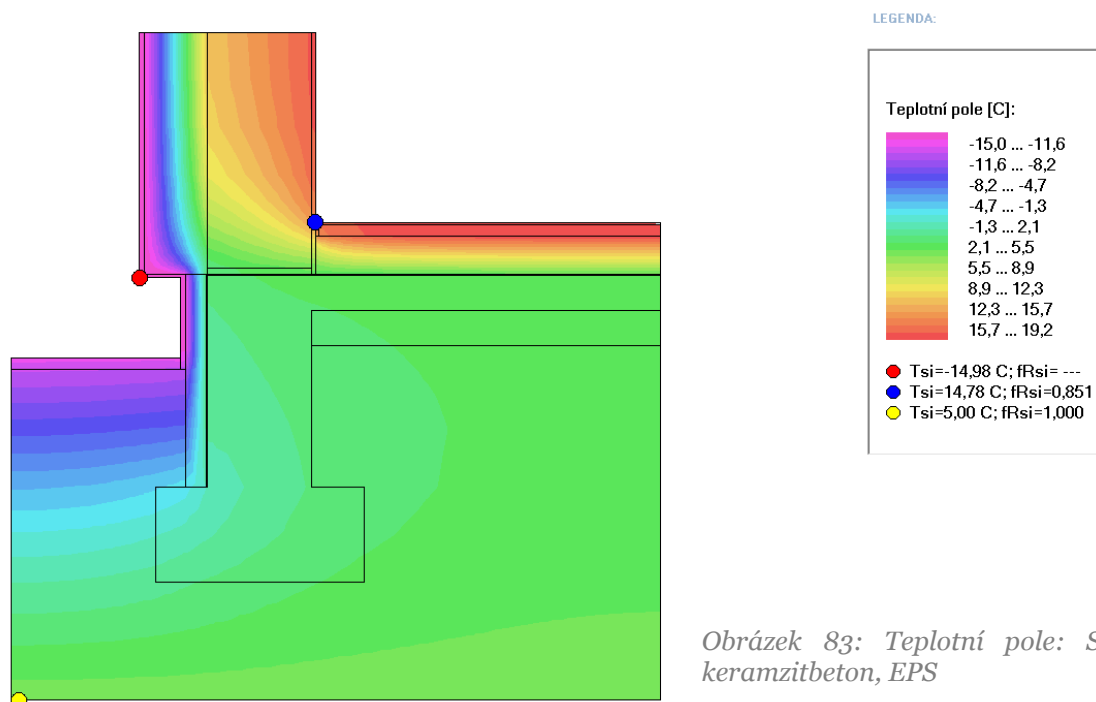
Obrázek 81: Izotermy: Sokl, pórobeton, PUR



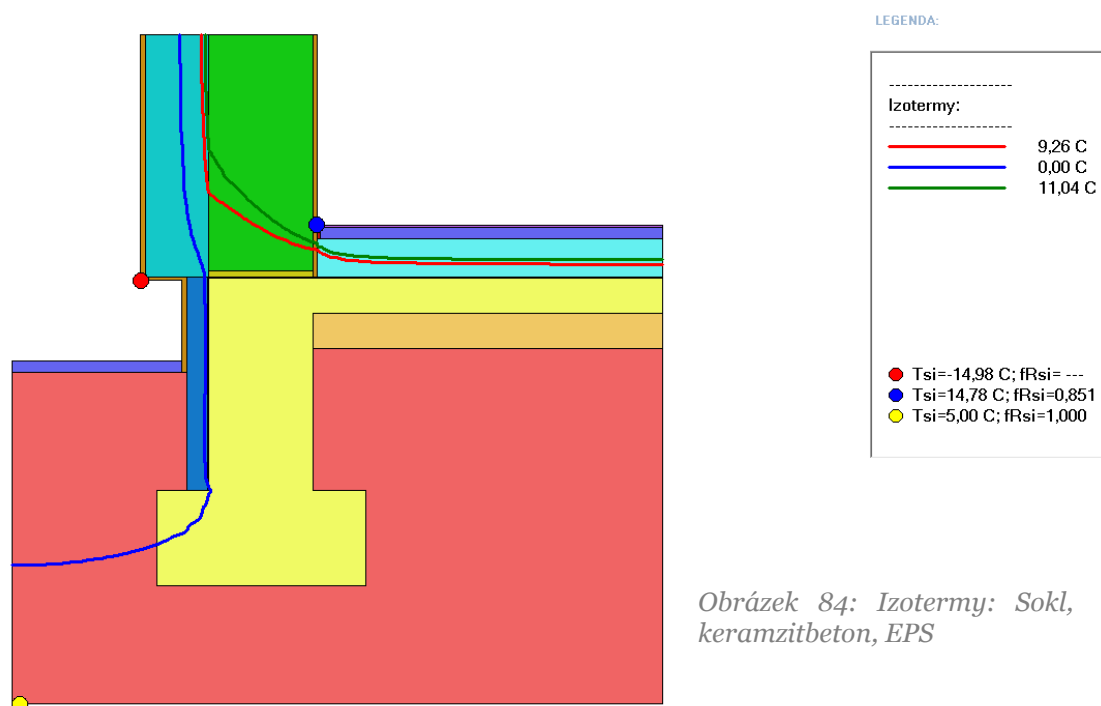
Teplotní pole na danou tloušťku tepelného izolantu vykazuje velice dobré rozložení teplot. Ovšem vlhkostní pole díky vlastnostem pórobetonu a chladné zemině ukazuje velké množství vlhkosti v konstrukci.

## Keramzitbetonové zdivo + EPS

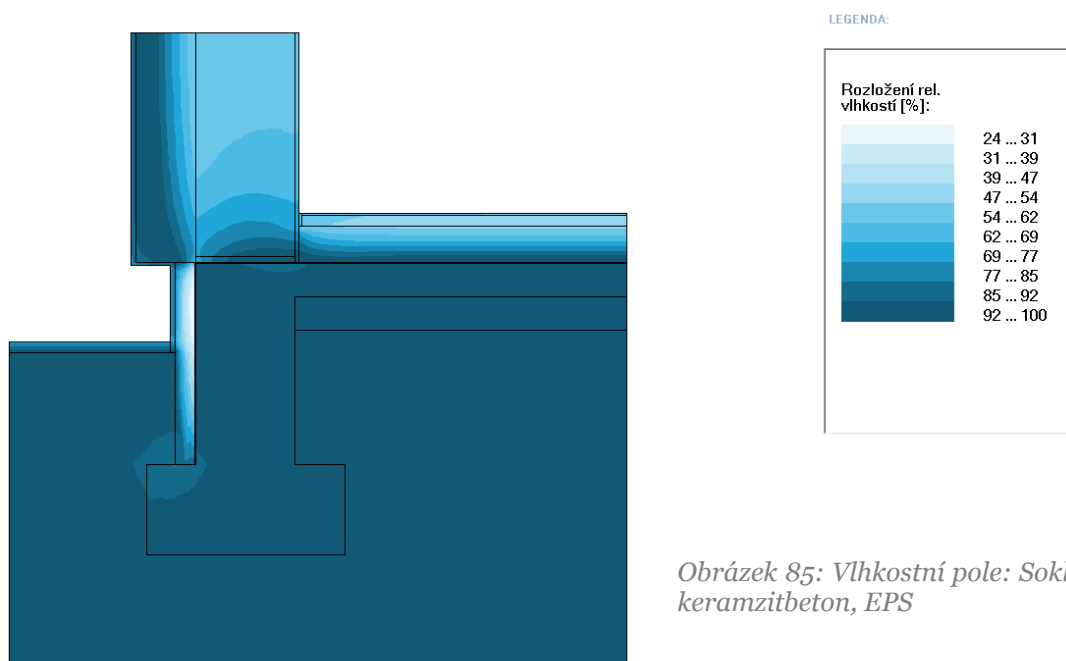
Keramzitbetonové zdivo a 180 mm polystyrenu.



Obrázek 83: Teplotní pole: Sokl, keramzitbeton, EPS



Obrázek 84: Izotermy: Sokl, keramzitbeton, EPS

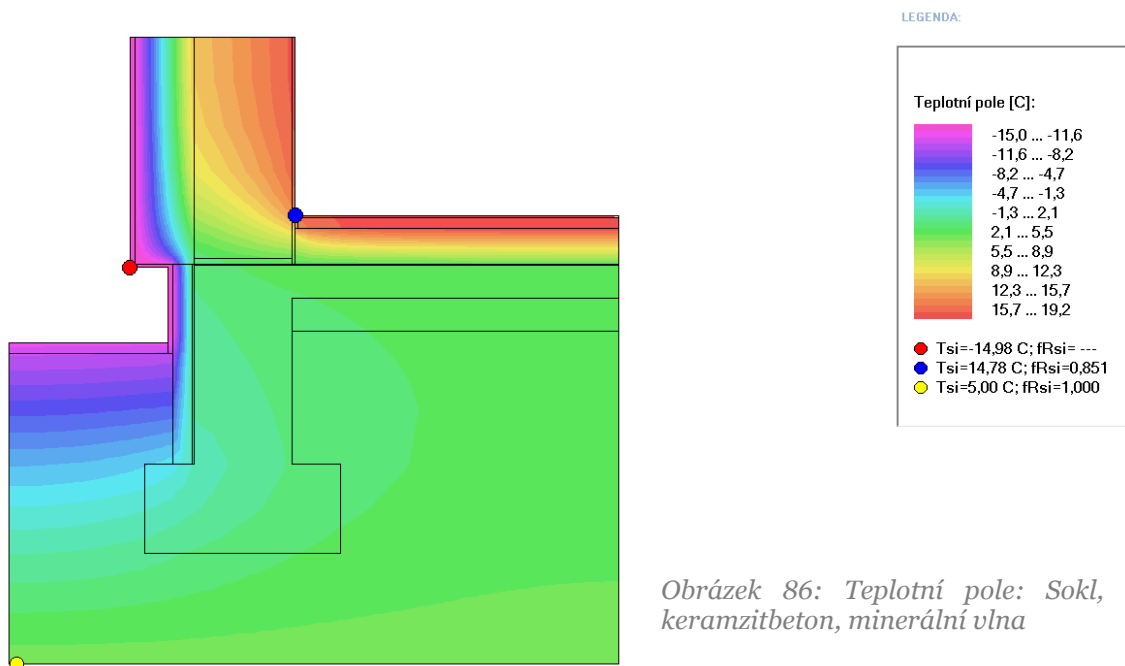


Teplotní pole je velmi podobné jako u keramické tvárnice v kombinaci s pěnovým polystyrenem. I podobnost průběhu izoterem ukazuje na velmi podobné tepelně technické parametry keramzitbetonu a pálené keramiky.

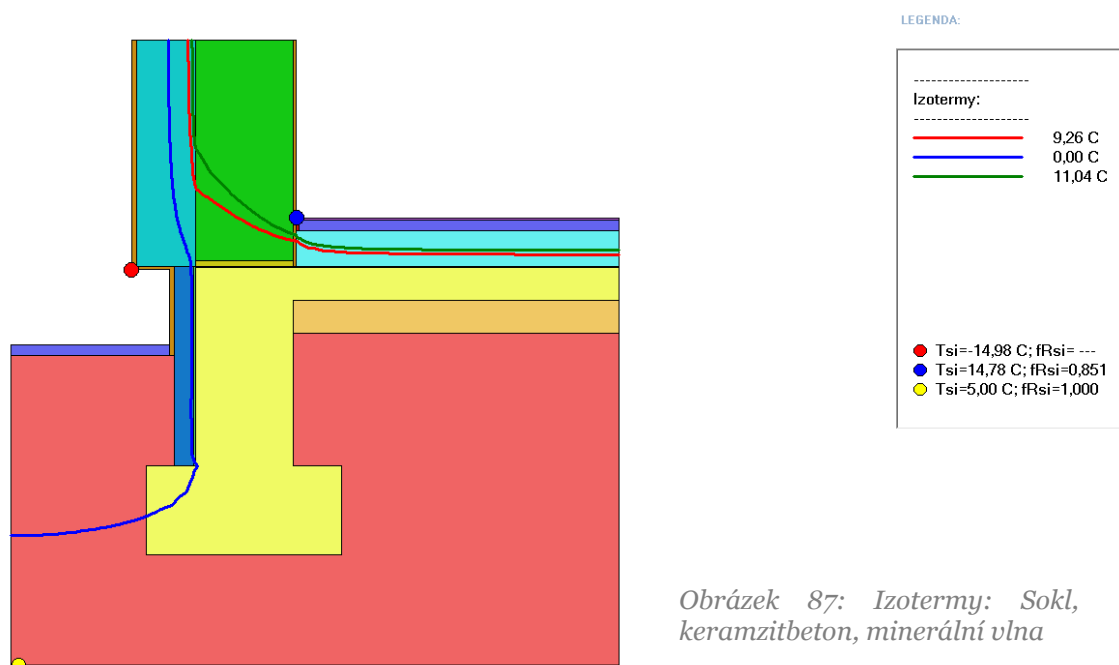
Vysoké vlhkostní hodnoty jsou díky nízké teplotě především na venkovní straně izolantu. Podobné hodnoty jsou opět i v konstrukci podlahy díky chladné a vlhké zemině.

## Keramzitbetonové zdivo + minerální vlna

Zateplení zdiva 180 mm minerální vlny.

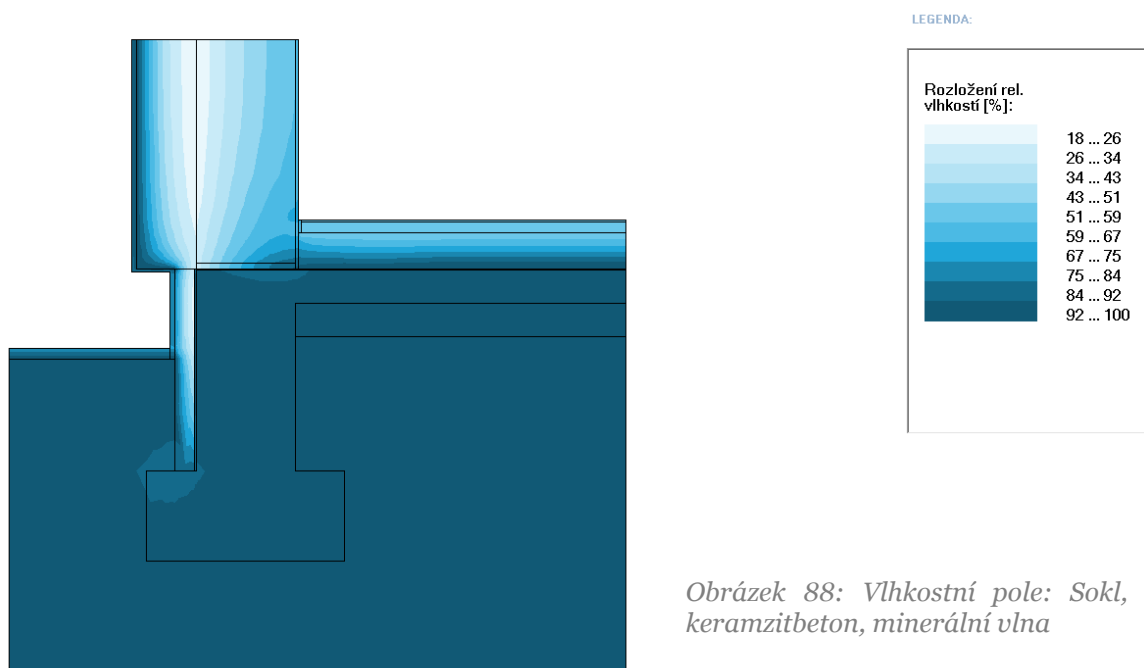


Obrázek 86: Teplotní pole: Sokl, keramzitbeton, minerální vlna



Obrázek 87: Izotermy: Sokl, keramzitbeton, minerální vlna





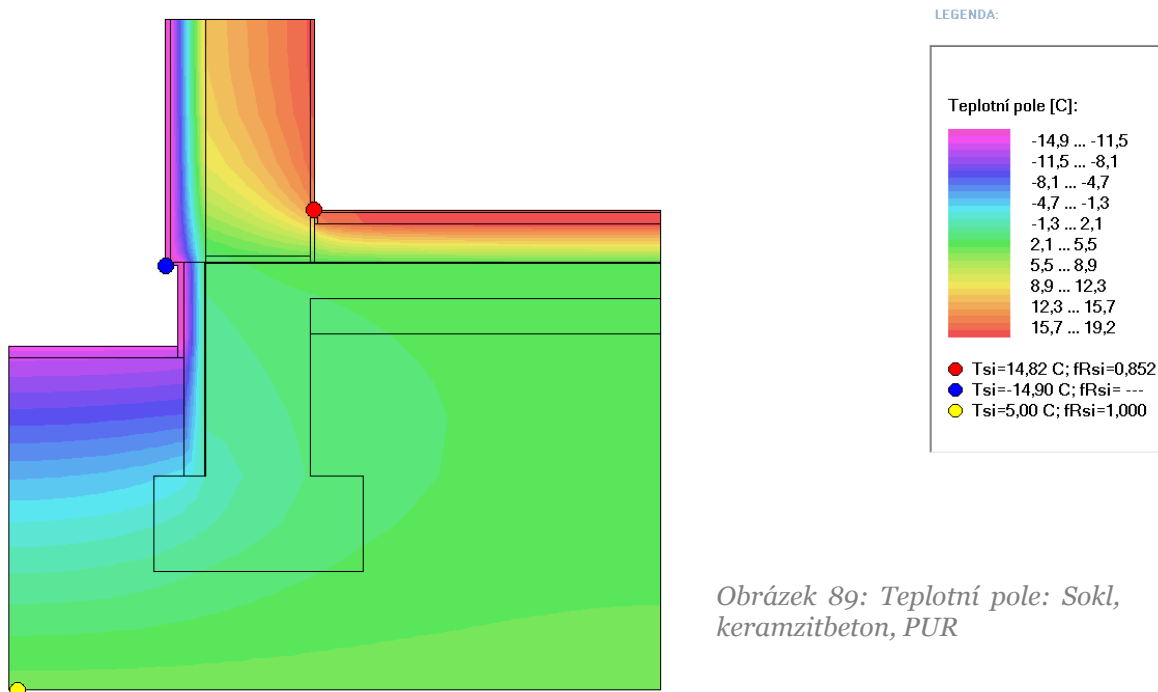
Obrázek 88: Vlhkostní pole: Sokl, keramzitbeton, minerální vlna

Teplotní pole opět téměř totožné jako v případě s EPS díky velmi podobné tepelné vodivosti minerální vlny a polystyrenu.

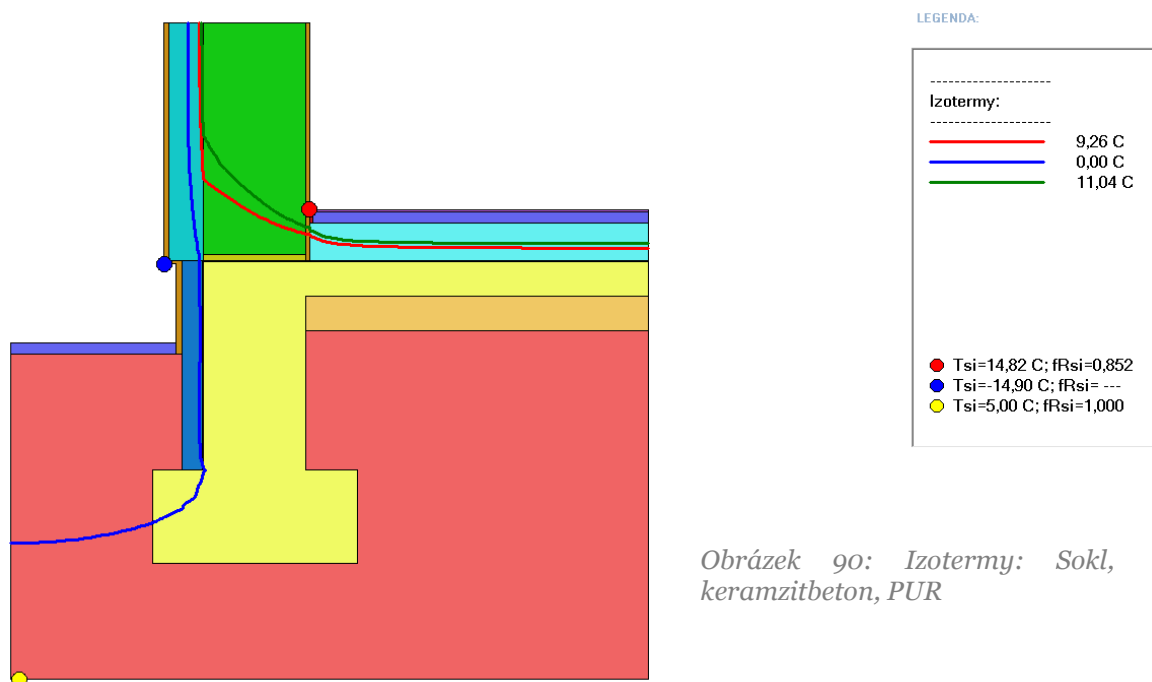
Díky vlastnostem minerální vlny nešplhá hodnota vlhkosti v místě založení zdiva k hodnotám, jakých dosahuje při zateplení polystyrenem.

## Keramzitbetonové zdivo + PUR desky

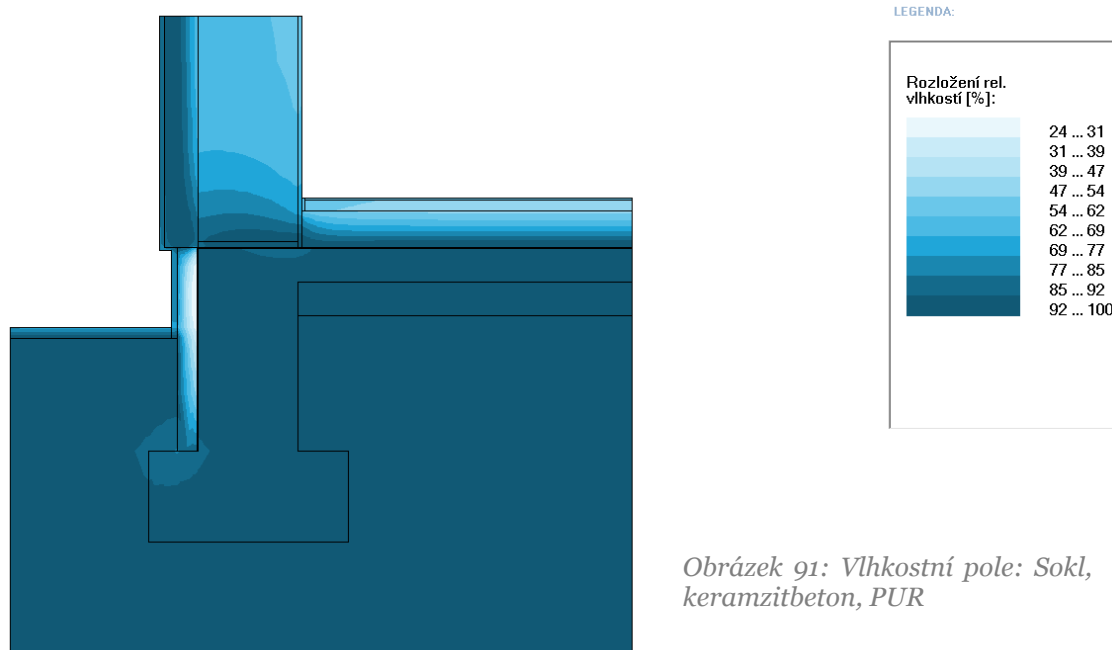
Keramzitbetonové tvarovky a zateplení 100 mm PUR deskami.



Obrázek 89: Teplotní pole: Sokl, keramzitbeton, PUR



Obrázek 90: Izotermy: Sokl, keramzitbeton, PUR



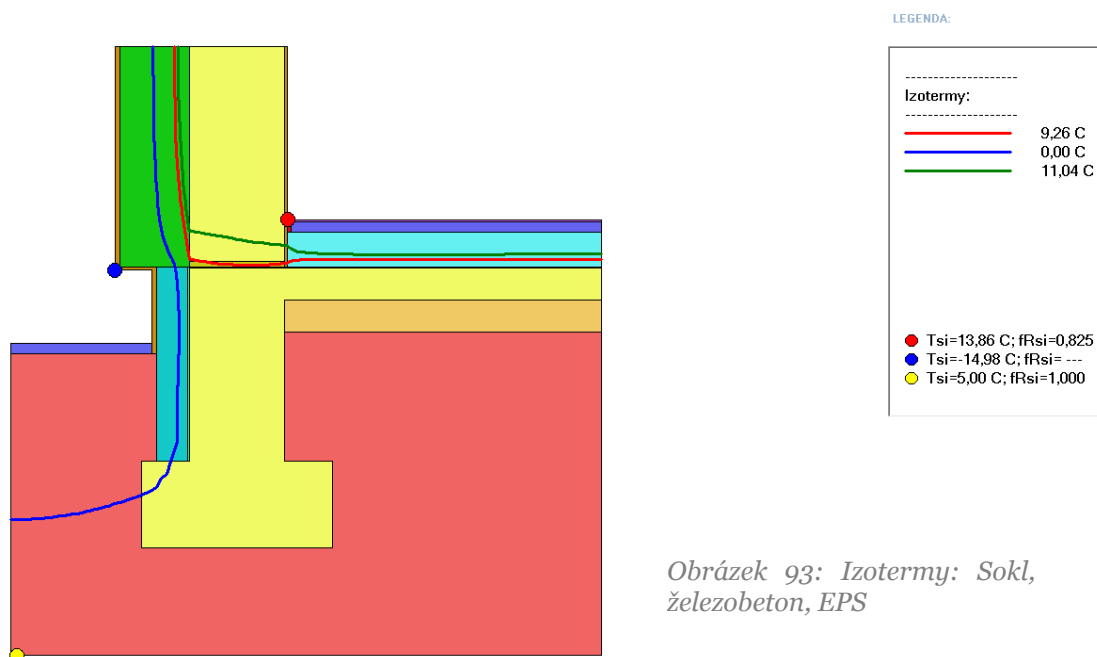
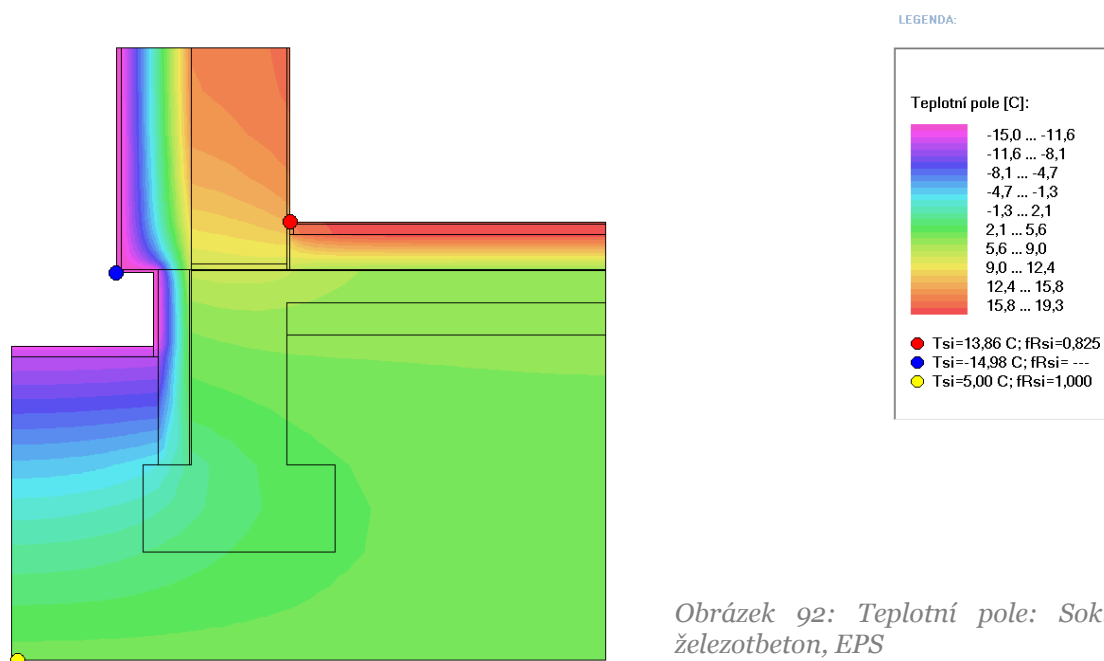
Obrázek 91: Vlhkostní pole: Sokl, keramzitbeton, PUR

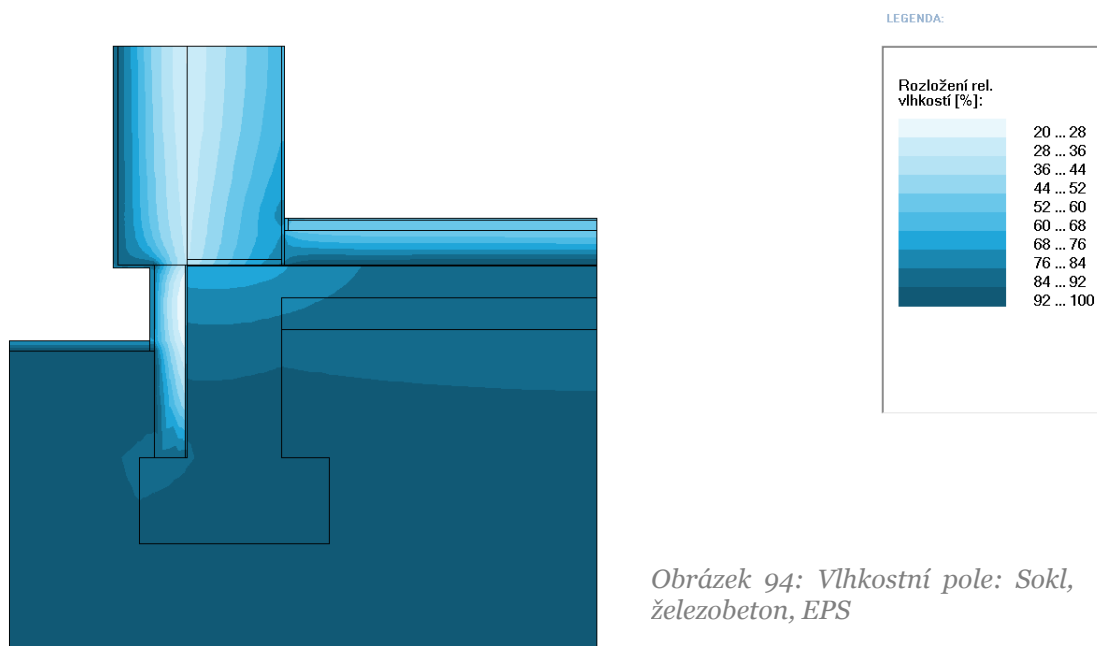
Teplotního pole je opět důkazem, že PUR desky mají daleko lepší tepelně izolační vlastnosti, než pěnový polystyren i minerální vlna.

Vlhkostní pole opět ukazuje velmi vysokou vlhkost konstrukce v místě založení zdiva.

## Železobeton + EPS

Pro teoretický případ s železobetonovou zdí bylo nutno nejen zateplit konstrukci vrstvou 220 mm EPS, ale také zvýšit tloušťku XPS pro ztracené bednění pod úrovní terénu na 100 mm.





Teplotní pole opět předvedlo vodivost železobetonu. K dosažení normových požadavků vede cesta pouze přes větší tloušťky tepelných izolací. Tím se poté částečně zamezí i vniknutí vlhkosti do založení stěny. U rodinných domů se však s takovou variantou nesetkáme.

## 5. Závěr

Hlavními výhodami a nevýhodami nejpoužívanějších typů zdění jsou:

### **Jednovrstvé keramické zdivo**

- + Splnění požadavků na součinitele prostupu tepla,
- + rychlejší výstavba,
- + nehořlavý konstrukční systém,
- + dobré akustické vlastnosti,
- + dobrá tepelná akumulace,
- + delší životnost tepelné izolace,
- + bezúdržbový systém.
- Nutná vysoká přesnost a dodržení technologických předpisů,
- obtížné řešení kritických detailů a členitých konstrukcí,
- promrzání zdiva,
- obtížná opracovatelnost tvarovek,
- vyšší hmotnost, těžší manipulace,
- výrazné zhoršení vlastností zásahem do zdiva.

### **Vícevrstvé keramické zdivo**

- + Jednodušší výstavba a zásahy do zdiva,
- + snazší řešení členitých objektů a kritických detailů,
- + nehořlavý konstrukční systém,
- + dobré akustické vlastnosti,
- + dobrá tepelná akumulace,
- + promrzání pouze tepelné izolace,
- + minimální zhoršení vlastností zásahem do zdiva.
- Delší doba výstavby z důvodu dodatečného zateplování,
- omezená životnost tepelné izolace (20–30 let),
- obtížná opracovatelnost tvarovek,
- vyšší hmotnost, těžší manipulace,
- výrazné zhoršení vlastností při zásahu do zdiva.

### **Jednovrstvé pórobetonové zdivo**

- + Splnění požadavků na součinitele prostupu tepla,
- + rychlejší výstavba,
- + nehořlavý konstrukční systém,
- + snadná opracovatelnost tvarovek,
- + dobrá tepelná akumulace,
- + bezúdržbový systém.
- Nutná vysoká přesnost a dodržení technologických předpisů,
- obtížné řešení kritických detailů a členitých konstrukcí,
- špatné akustické vlastnosti,
- nasákavý materiál,
- nižší pevnost,
- promrzání zdiva,
- výrazné zhoršení vlastností zásahem do zdiva.

### **Vícevrstvé pórobetonové zdivo**

- + Jednodušší výstavba a zásahy do zdiva,
- + snazší řešení členitých objektů a kritických detailů,
- + nehořlavý konstrukční systém,
- + dobrá tepelná akumulace,
- + promrzání pouze tepelné izolace,
- + minimální zhoršení vlastností zásahem do zdiva.
- Delší doba výstavby z důvodu dodatečného zateplování,
- omezená životnost tepelné izolace (20–30 let),
- nasákavý materiál,
- nižší pevnost,
- výrazné zhoršení vlastností při zásahu do zdiva.

### **Keramzitbetonové zdivo**

Platí obdobné výhody a nevýhody jako pro keramické zdivo (jedno i vícevrstvé)

### **Dřevostavba**

- + Malá tloušťka konstrukcí, větší užitná plocha,
- + velmi rychlá výstavba (montáž),

- + dobré akustické vlastnosti,
- + přírodní materiál,
- + promrzání pouze tepelné izolace.
- Hořlavý konstrukční systém,
- omezená životnost tepelné izolace (20–30 let),
- obtížné řešení rozsáhlejších zásahů do konstrukce,
- malá tepelná akumulace,
- nižší pevnost.

Výhody a nevýhody tepelných izolantů:

### **EPS**

- + Levný materiál,
- + dobré tepelně izolační vlastnosti,
- + široké spektrum využití,
- + využití i po recyklaci,
- + lehký,
- + snadno opracovatelný.
- Ekologická stopa,
- hořlavý,
- nasákavý,
- degradace vlivem vysoké teploty (nad 70–80 °C),
- degradace vlivem rozpouštědel.

### **XPS**

- + Nenasákavý, vhodný pod terén a do obrácených střech,
- + dobré tepelně izolační vlastnosti,
- + lehký,
- + snadno opracovatelný.
- Ekologická stopa,
- hořlavý,
- vyšší cena,
- degradace vlivem vysoké teploty (nad 70–80 °C),
- degradace vlivem rozpouštědel.



## **Minerální vlna**

- + Dobré tepelně izolační vlastnosti,
- + zvukový izolant,
- + nehořlavý materiál,
- + lehký,
- + tvrdé desky i měkké rohože.
- Ekologická stopa,
- nepříjemná práce s materiálem,
- nasákavý,
- vyšší cena.

## **PUR a PIR desky**

- + Špičkové tepelně izolační vlastnosti,
- + lehký,
- Vysoká cena,
- nasákavý.

Po porovnání a vyhodnocení stavebních prvků a jejich možných kombinací s různými typy tepelných izolantů nelze jednoznačně říct, který konstrukční systém je nejlepší. Každá stavba má svá specifika, která je nutno zohlednit.

Jednovrstvé zdivo bez dodatečného zateplení se jeví jako velice zajímavá varianta, však doporučil bych ji jen pro výstavbu velice tvarově jednoduchých budov. Čím více vikýřů, arkýřů, výklenků a dalších architektonických složitostí, tím méně vhodný tento systém je.

Pro členitější objekty je vhodnější variantou vícevrstvé zdivo. Konzervativní lidé téměř jistě vyberou keramické zdivo, někteří další vyberou jako vhodný materiál pórobeton. Za poměrně výhodnou stavbu se dá považovat i domek ze dřeva, který si dozajista své příznivce najde.

Z izolačních materiálů je v dnešní době nepostradatelný extrudovaný polystyren, který jako jediný může zateplovat podzemní části budov, ale také se využije v obrácených střeších a DUO střeších.

Bez minerální vlny se neobejdeme u staveb, kde je kladen vysoký důraz na požární bezpečnost. Tento materiál je nehořlavý.

Nejrozšířenějším tepelným izolantem nejspíš zůstane pěnový polystyren. Díky svým poměrně dobrým tepelně izolačním schopnostem a nepříliš nákladné výrobě v nejbližší době konkurenta nenajde.

Nicméně i přes svoji vyšší cenu jsou PUR desky velmi zajímavým izolačním materiálem a myslím si, že se v řádech několika let budou těšit velkému rozmachu. Výrobní náklady jsou sice vyšší, ale oproti minerální vlně nebo pěnovému polystyrenu ho pro stejný izolační účinek spotřebuju téměř o polovinu méně. Proto se domnívám, že se pro tento typ izolace bude rozhodovat stále více investorů.

## **6. Seznam použité literatury**

### **6.1 Internetové zdroje**

<http://www.tzb-info.cz/>

<http://stavba.tzb-info.cz/>

<http://vetrani.tzb-info.cz/>

<http://www.stavebnictvi3000.cz/>

<http://wienerberger.cz/>

<http://www.ytong.cz/>

<http://www.liapor.cz/cz/>

<http://www.prefa.cz/>

<http://rdrymarov.cz/>

<http://isover.cz/>

<http://www.schoeck-wittek.cz/>

<http://styrotrade.cz/>

<http://www.weber-terranova.cz/>

<http://baumit.cz>

<http://www.nulovedomy.org/>

<http://www.ceskestavby.cz/>

<http://www.epscr.cz/>

<http://www.izolace-info.cz/>

<http://www.tepelna-izolace.cz/>

<http://stavebnikomunita.cz/>

<http://nejlevnejsi-stavba.cz/>

<http://stavba-a-rekonstrukce.bydleniprokazdeho.cz/>

<https://www.dek.cz/>

<http://rockwool.cz/>

<http://www.stavebniny-rychle.cz/>

<https://atelier-dek.cz/>

<http://www.chytre-bydleni.cz/>

<http://www.cscm.cz/>

## **6.2 Tištěné zdroje**

Václav Hájek a kol., *Pozemní stavitelství*, Sabotáles, Praha, 1999,

František Vörös: *Z historie výroby českého styrenu a kompaktních plast, Plasty a kaučuk*, 2012,

ČSN 73 0540-1. Tepelná ochrana budov – Část 1: Terminologie. 1. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.

ČSN 73 0540-2. Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. 1. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

ČSN 73 0540-3. Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin. 1. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.

ČSN 73 0540-4. Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové metody. 1. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.

ČSN EN ISO 13788 (73 0544). Tepelně vlhkostní chování stavebních dílců a stavebních prvků: Vnitřní povrchová teplota pro vyloučení kritické povrchové vlhkosti a kondenzace uvnitř konstrukce – Výpočtové metody. Praha: Český normalizační institut, 2002

Technické listy výrobců